

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

«На правах рукопису»

УДК 679.91

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **В.Б.Струтинський**

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

Спеціальність _____ **133 Галузеве машинобудування**

Спеціалізація _____ **«Металорізальні верстати та системи»**

на тему **Синтез сучасних високошвидкісних затискних механізмів з використанням нано-структурних матеріалів**

Виконав: студент

II курсу

МВ – 61м

_____ **Колтуха Василь Анатолійович**

_____ (прізвище ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник

_____ **проф., д.т.н. Кузнєцов Ю.М.**

_____ (вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

РЕЦЕНЗЕНТ:

_____ (посада, наукова ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань. Студент _____ (підпис)

Київ – 2018

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського”
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання верстатів та машин

Рівень вищої освіти _____ **другий (магістерський)** _____

Спеціальність _____ **133 Галузеве машинобудування** _____

Спеціалізація _____ **«Металорізальні верстати та системи»** _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **В.Б.Струтинський**

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 201_ р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

_____ **Колотуха Василь Анатолійович** _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації _____ **Синтез сучасних високошвидкісних затискних механізмів з використанням нано-структурних матеріалів** _____

науковий керівник дисертації _____ **проф., д.т.н. Кузнєцов Юрій Миколайович**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від **“15” березня 2018 року № 934-с**

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження - процеси і явища, що протікають в затискних механізмах з використанням нано-структурних матеріалів _____

4. Предмет дослідження - створення високошвидкісних затискних механізмів з використанням нано-структурних матеріалів _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити - на підставі досліджень виконати аналіз схем і конструкцій ЗМ для затиску тіл обертання високошвидкісних і прецизійних шпиндельних вузлів; виконати аналіз раніше проведених досліджень високошвидкісних ЗМ; теоретично дослідити характеристики і

працездатність створеного ЗМ; Розробити високошвидкісний шпиндельний вузол з використанням нового ЗМ.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: 1) Синтез сучасних високошвидкісних затискних механізмів з використанням нано-структурних матеріалів; 2) Виклики четвертої промислової революції «Industry 4.0»; 3) Структура основних і додаткових вимог до ЗМ; 4) Вплив затискних механізмів і технологічного оснащення на техніко-економічні показники токарних верстатів; 5) Аналіз раніше проведених досліджень; 6) Дерево цілей - приватних критеріїв на різних рівнях морфологічного синтезу ЗМ; 7) Критерії відбору кращих рішень ЗМ на різних рівнях синтезу; 8) Прогнозування нових високошвидкісних ЗМ; 9) Принципові схеми ЗМ; 10) Класифікація нано-матеріалів за складом фаз, розподілу і формі структурних складових; 11) Нано – матеріали; 12) Запропонована конструкція ШВ з синтезованим високошвидкісним ЗМ на основі нано-пористих матеріалів; 13) Дослідження динамічних характеристик затискного елемента з об'єктом затиску генетичний код $F_{r1} - F_{r2}$.

7. Орієнтовний перелік публікацій — Тези доповідей всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ - МАШИНОБУДУВАННЮ» - 2017 рік; Тези доповіді на XVII міжнародній науково-практичній конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво (МOM2017)»; Тези - VII конференція студентів, аспірантів та молодих вчених "Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених"

8. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	проф., д.т.н. Кузнєцов Ю.М.		

9. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Сучасний стан світового і вітчизняного верстатобудування в умовах четвертої промислової революції “INDUSTRY 4.0”.	Вересень – жовтень 2017 р.	
2	Патентно-інформаційні дослідження по високошвидкісним і високоточним ЗМ.	Листопад – грудень 2017 р.	
3	Синтез високошвидкісних і високоточних ЗМ	Січень – лютий 2018 р.	
4	Основні поняття нанотехнології, види та методи дослідження	Березень 2018 р.	
5	Розробка рекомендацій по створенню нових конструкцій ЗМ і попередні дослідження	Квітень 2018 р.	

Студент _____ Колотуха В.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації _____ проф., д.т.н. Кузнецов Ю.М.

Реферат

180 сторінок, 62 малюнків, 17 таблиць, 134 джерел інформації

В даній роботі розглянуті основні принципи і вимоги четвертої промислової революції «ІНДУСТРІЯ 4.0», також розглянуті аспекти та тенденції щодо поширення її в Україні. Важливу роль в верстаті відіграє затискний механізм як головна частина формування поверхні деталі. Встановлено основні вимоги і оцінювальна вартість впровадження нових конструкцій з врахуванням впливу на техніко економічні показники в цілому.

Проведений патентно-інформаційний пошук аналогічних затискних механізмів. Також наведені теоретичні відомості, щодо нано-структурних матеріалів, проведений огляд різних нано-структурних матеріалів і їх основні характеристики.

Після проведення морфологічного синтезу високошвидкісних затискних механізмів, в якому були розглянуті різні варіанти конструкції і вибраний найкращий варіант. Запропоновано нову конструкцію затискного механізму з використанням нано-пористого матеріалу і шпиндельного вузла для використання цього затискного механізму. Після завершення синтезу було проведено теоретичні дослідження роботи запропонованої конструкції та наведені подальші напрямки досліджень

Ключові слова: ІНДУСТРІЯ 4.0; затискний механізм; синтез; нано-матеріали; шпиндельний вузол; мотор-шпиндель; еволюція; прогнозування.

Реферат

180 страниц, 62 рисунков, 17 таблиц, 134 источников информации

В данной работе рассмотрены основные принципы и требования четвертой промышленной революции «ИНДУСТРИЯ 4.0», также рассмотрены аспекты и тенденции распространения ее в Украине. Важную роль в станке играет зажимной механизм как главная часть формирования поверхности детали. Установлены основные требования и оценочная стоимость внедрения новых конструкций с учетом влияния на технико-экономические показатели в целом.

Проведенный патентно-информационный поиск аналогичных зажимных механизмов. Также наведения теоретические сведения, по наноструктурных материалов, проведен обзор различных наноструктурных материалов и их основные характеристики.

После проведения морфологического синтеза высокоскоростных зажимных механизмах, в котором были рассмотрены различные варианты конструкции и выбранный лучший вариант. Предложена новая конструкция зажимного механизма с использованием нанопористого материала и шпиндельного узла для использования этого зажимного механизма. После завершения синтеза было проведено теоретические исследования работы предложенной конструкции и приведены дальнейшие направления исследований.

Ключевые слова: ИНДУСТРИЯ 4.0; зажимной механизм; синтез; наноматериалы; шпиндельный узел; мотор-шпиндель; эволюция; прогнозирования.

Abstract

180 pages, 62 drawings, 17 tables, 134 sources of information

In this paper, the main principles and requirements of the fourth industrial revolution "INDUSTRY 4.0" are considered, as well as aspects and tendencies concerning its distribution in Ukraine are considered. An important role in the machine is played by the clamping mechanism as the main part of the surface of the part. The basic requirements and estimation cost of introduction of new constructions with account of influence on techno-economic indicators as a whole are established.

A patent-information search for similar clamping mechanisms was carried out. Also, theoretical information about nano-structural materials is given, an overview of different nanostructured materials and their main characteristics are conducted.

After the morphological synthesis of high-speed clamping mechanisms, which considered various design options and selected the best option. A new design of a clamping mechanism with the use of a nano-porous material and a spindle assembly for use of this clamping mechanism is proposed. After the completion of the synthesis, theoretical studies of the proposed design were carried out and further directions of research were given

Keywords: INDUSTRY 4.0; clamping mechanism; synthesis; nano-materials; spindle knot; motor spindle; evolution; prognostication.

Зміст

Вступ.....	10
Розділ 1. Сучасний стан світового і вітчизняного верстатобудування в умовах четвертої промислової революції “INDUSTRY 4.0”	13
1.1 Тренд «Industry 4.0» - чи потрібен він Україні.....	13
1.2. Вимоги і характеристики ЗМ в умовах високошвидкісної і високоточної обробки.....	21
1.3. Вплив затискних механізмів і технологічного оснащення на техніко-економічні показники токарних верстатів.....	27
1.4 Аналіз раніше проведених досліджень по високошвидкісним і високоточним ЗМ.....	32
1.5. Мета і задачі досліджень.....	42
Розділ 2. Патентно-інформаційні дослідження по високошвидкісним і високоточним ЗМ.....	44
2.1. Високошвидкісні і високоточні ЗМ механічного виконання.....	44
2.2. Електромеханічні ЗМ.....	45
2.3. ЗМ з використанням різних середовищ (рідинних, плинних, сипучих, повітряних і комбінованих).....	49
Розділ 3. Синтез високошвидкісних і високоточних ЗМ.....	61
3.1 Формулювання задачі синтезу.....	61
3.2. Формування критеріїв для прийняття рішень при виборі кращих варіантів на різних рівнях морфологічної синтезу затискного механізму.....	69
3.3. Пошук нових принципів дії затискних механізмів за ознакою силового потоку.....	80
3.4. Моделювання та синтез затискних механізмів з різними перетворювачами силових потоків і видом передавальної середовища.....	83
3.5.Еволюція і прогнозування високоточних і високошвидкісних осесиметричних ЗМ.....	91
Розділ 4.Основні поняття нанотехнології, види та методи дослідження.....	96
4.1 Визчення та поняття в нанотехнології.....	96
4.2 Технології та розмірність в наноматеріалах.....	98
4.3. Характеристик основних видів наноматеріалів.....	99
4.4. Матеріали з нано-пористою структурою.....	118

Розділ 5. Розробка рекомендацій по створенню нових конструкцій	
ЗМ і попередні дослідження	128
5.1 Запропонована конструкція синтезованого високошвидкісного ЗМ.....	128
5.2 Теоретичні дослідження слових характеристик синтезованого ЗМ з використанням словового потоку.....	130
5.3. Теоретичні дослідження ЗМ з використанням силових потоків.....	134
5.4 Напрямки подальших досліджень.....	141
Висновки.....	143
Література.....	144
Додатки.....	159

Вступ

Актуальність теми. Створення верстатів для високошвидкісної та високоточної обробки, призвело до розробки і впровадження нових шпиндельних вузлів (ШВ) та затискних механізмів (ЗМ) нового зразку, які суттєво спрощують роботу ШВ і розширюють його технологічні можливості.

Створення ШВ для високошвидкісної і високоточної обробки можливе декількома способами, підвищенням складності конструкції, що призводить до його технологічної складності за рахунок великої кількості елементів, що використовуються в конструкції які в свою чергу призводять до більших витрат на виробництво і обслуговування, або до спрощення конструкції для забезпечення більш високої точності, за рахунок малої кількості деталей і більш простої конструкції. Також повинно ставитися питання стосовно матеріалів використаних в деталях, елементах конструкції, адже від вибору правильних матеріалів залежать багато показників нового ШВ такі як: ціна, складність конструкції, технологічність в роботі, ремонтоздатність, умови роботи та інші.

В роботі запропонована теорія виготовлення ЗМ нового типу, з використанням нано-структурних матеріалів, як основного елементу в конструкції ШВ. Використання нано-структурних матеріалів призвело до застосування в ЗМ комбінованої сили затиску від пластичної деформації матеріалу і електрофізичних сил, які виникають в самому ЗМ, за рахунок використання в ньому електролітів та електричного одно полярного заряду.

Створення високошвидкісного та високоточного затискного механізму призвело до суттєвої зміни і самого ШВ. В якому через використання нових матеріалів і принципів затиску, більше не використовуються такі компоненти як привід затиску, механізм затиску, цанговий затискний патрон. А інструмент і сам ЗМ розташовуються на пряму в шпинделі ШВ.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності ЗМ в умовах високошвидкісної і високо точної обробки за рахунок використання в конструкції нано-структурних матеріалів.

Для досягнення мети в роботі необхідно розв'язати наступні задачі:

1. На підставі досліджень виконати аналіз схем і конструкцій ЗМ для затиску тіл обертання високошвидкісних і прецизійних шпиндельних вузлів.
2. Виконати аналіз раніше проведених досліджень високошвидкісних ЗМ.
3. Розробити високошвидкісний шпиндельний вузол з використанням нового ЗМ.
4. Теоретично дослідити характеристики і працездатність створеного ЗМ.

Об'єкт дослідження – процеси і явища, що протікають в затискних механізмах з використанням нано-структурних матеріалів.

Предметом досліджень є створення високошвидкісних затискних механізмів з використанням нано-структурних матеріалів.

Основний зміст досліджень Конструкція високошвидкісного затискного механізму створеного на основі нано-структурних матеріалів і така ж конструкція з використанням традиційних матеріалів, має досить значні конструкційні відмінності. Це пояснюється тим, що перестає використовуватися значна кількість елементів конструкції та ряд механізмів.

Вибір структурного матеріалу для виробу - це завжди пошук компромісу між твердістю і деформацією. Властивості матеріалу визначається згідно з його складу і мікроструктури: вони отримуються в процесі синтезу і обробки. Однак при експлуатації виробу зовнішні умови можуть змінюватися, і разом з ними може істотно змінитися перелік вимог до матеріалу. І, звичайно ж, було б дуже добре, щоб під певним впливом матеріал міг тимчасово змінити свої властивості.

Властивості нано-структурних матеріалів, в тому числі характеристики експлуатаційних властивостей, визначаються їх структурою; вивчення останньої є однією з важливих завдань нано-структурного матеріалознавства.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Запропонована конструкція, створення ЗМ з новими типом властивостями затиску.
2. Внесення вагомих змін до конструкції ШВ, що дасть змогу спростити його технологічну складність.
3. Сформульовані теорія побудови ЗМ з використання в основі їх будови нано-пористих матеріалів.

Особистий внесок здобувача:

1. Запропонована ідея використання нано-пористих металів в новітніх конструкціях металорізальних верстатах.
2. Створення ЗМ на основі нано-пористого металу.
3. Зміна конструкції ШВ для успішного використання ЗМ з нано-структурного матеріалу.
4. Створення теорії для подальшого використання та в провадження теорії будови ЗМ з нано-пористого металу.

Публікації.

За темою дисертаційної роботи опубліковано 4 тез доповідей та оформлено заявку для отримання патенту України на корисні модель.

Розділ 1. Сучасний стан світового і вітчизняного верстатобудування в умовах четвертої промислової революції “INDUSTRY 4.0”

1.1 Тренд «Industry 4.0» - чи потрібен він Україні.

Про нові світові тренди, що несуть сучасні інформаційно-комунікаційні технології говорять весь час і давно. Останнє десятиліття звучать терміни як Smart або Digital Factory та Digitalization (всього і вся). Звідки й Digital Economy. В США, які є найбільшими інноваторами в світі за цим всім говорять про технології як IoT, Big data, Cloud computing, Remote & mobile access, wireless communication, 3D printing тощо. У 2013-14 ми говорили як про «мега-тренди» промислової автоматизації. То можливо ці нові тренди діджиталізації і є трендами 4.0.

Термін «Industry 4.0» [1] з’являється в нас після відвідання Ганновера в 2014 р., ця стаття вичерпно пояснює ініціативу німецького уряду про хай-тек стратегії до 2020. Якщо коротко – це скоординована, державна ініціатива по мобілізації всіх національних ресурсів з метою прискорення технологічних змін та утримання німецького лідерства в світовій конкуренції. Повторимось, що визначально термін стосується саме технологій у виробництві, тобто – промислових секторів. Сьогодні платформа Industrie 4.0 об’єднує декілька тисяч компаній, що об’єднались навколо напрямків досліджень, інновацій, навчання тощо в сфері виробничих технологій. Можливо, тоді мова за більш потужні спільноти або ж державні ініціативи.

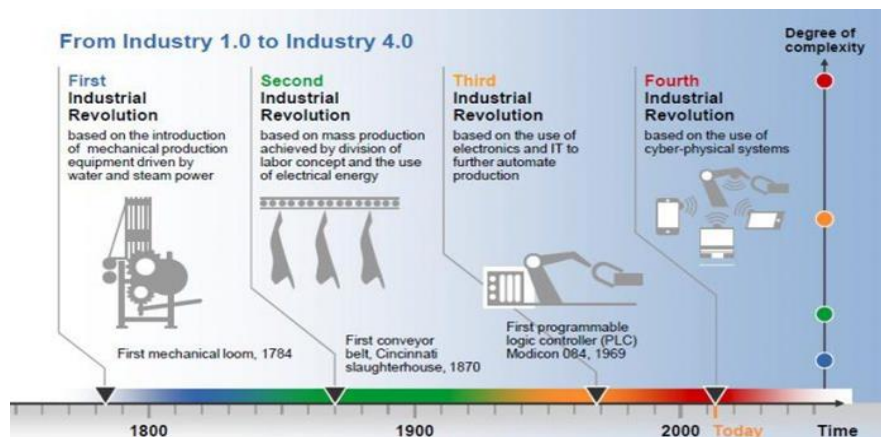


Рис.1.1 Етапи проходження світових індустріальних революцій

Насправді, діджиталізація – як проникнення цифрових технологій, автоматизації та ІТ на всі рівні життя та економіки почалась ще в минулому столітті й отримала назву технологічного укладу 3.0. І це триває й досі. Але те, що останніми роками німці та американці привнесли абсолютно нового – це певне переосмислення того, як компанії ведуть бізнес. Горизонтальна та вертикальна інтеграція ІТ, поєднання різних технологій, створення нових кібер-систем та штучного інтелекту змінює бізнес-моделі та способи ведення бізнесу. Цікаво спостерігати як мігрують рейтинги компаній світу – у 2015 в десятці найбагатших ми бачимо повне домінування софтверних та сервісних компаній, – а не тих, хто виробляє нафту, газ чи метал. Хоча саме так це було ще декілька років тому.

Саме тому й щоб відрізнити цей феномен зміни бізнес-моделей завдяки технологіям і з'явилась назва «4-а промислова». А оскільки ці технології застосовують всюди, то з часом термін стає більш узагальненим та таким, що виходить за рамки промисловості – сюди почали включати сфери міської інфраструктури (Smart City), освіти, охорони здоров'я, тощо. До спектра технологій додалися також інші – нано, біо, 3D-друк, нові енергоефективні технології.

Таким чином, світ почав називати цю зміну «4th industrial revolution» – «4-та промислова революція», маючи на увазі, що ті самі технології породжують зміни всюди й ці зміни породжують новий етап розвитку суспільства, що суттєво відрізняється від попередніх. Й тут виникла певна лінгвістична плутанина. В нашому сприйнятті 'industrial' це скоріше про промислове виробництво, хоча 'industry' в перекладі це може означати також «галузь» – тобто, будь-яка. Саме це й породило різне тлумачення та спори в українських бізнес-колах, про яку ми писали зовсім недавно.

Отже, щоб надалі не плутатись в термінах, пропонуємо розрізнити: «4-та промислова революція» – це про всі сфери життя, куди проникають нові технології. Але Industry 4.0 – це саме про нові технології та моделі виробництва в промисловості, і де найчастіше мають на увазі платформи як

німецька або ж подібні. Спільний знаменник обох категорій – це 4 ключові області революційних змін: IoT, Data Driven Decision (аналітика Big data), Connected machines, Artificial Intelligence.

Можливо, таке тлумачення трохи розведе та примирить нас з IT-шниками та бізнес-школами, які навипередки почали використовувати термін «4-а промислова», ані словом не згадуючи при цьому про саму промисловість)

Навіщо все це – про переваги

Клаус Шваб, засновник та голова Всесвітнього економічного форуму, випустив в цьому році цікаву статтю з назвою «4-та промислова революція – що це означає та як відповідати». В ній він доступно розповідає про переваги масової діджиталізації, а також про нові виклики. Коротко процитуємо переваги в розумінні Клауса Шваба і чому вони не є продовженням «3-ої революції»:

Безпрецедентне (по експоненті, а не лінійне) зростання інновацій – що стосується їх швидкості, об'єму та впливу. Це дасть значне покращення в ефективності, продуктивності та скороченні витрат.

Безпрецедентне зростання даних та можливостей їх використання для нових технологій вже дає краще залучення різних верств розробників – користувачів – клієнтів й сприятиме розвитку в багатьох відношеннях.

Штучний інтелект стає реальністю – конкретні приклади ми вже бачимо від масової роботизації й до біотехнологій.

Все разом це сприятиме росту світового багатства та зменшенню нерівності між розвинутими країнами та іншими.

Переваги нових технологій:

1. Здешевлення та прискорення інтеграції – горизонтальної та вертикальної. Це саме те, чого не вистачає сьогодні для повного контролю та покращення ефективності українських підприємств. І це є великою проблемою оскільки більшість даних вводиться в системи управління типу ERP вручну або ж їх просто немає – точних та повних. Відповідно чимало

виробничих KPI – особливо, в real-time просто «дуті». Рішення через традиційні MES та подібні системи – дуже дорогий шлях, що займатиме роки. Впровадження нових технологій, але на вже добре зарекомендованих стандартах – може значно прискорити реалізацію цього завдання. До речі, ISA 88-95, які ми просуваємо 3-й рік в Україні, вказані нижче на фреймворку як аналоги MEK 61512 та 62234

2. Заміна традиційних серверних технологій на хмарні так само здешевлює рішення та обслуговування систем управління. Відповідно ми реально можемо нарощувати сферу послуг SaaS.

3. Для інтеграторів та вендорів нові тренди також означають створення та розвиток нових ніш-сегментів та відповідних рішень. Як один з останніх прикладів – див. рішення Інфоком в області безпілотного управління. Також новий сегмент, що очікується в значному рості – аналітика даних. Згідно McKinsey, найбільше даних є саме в промисловості, але сьогодні тільки 5% з них використовується для прийняття управлінських рішень. Подібні приклади ми всюди бачимо й в українській промисловості.

4. Значне зростання окремих традиційних сегментів – наприклад, все що стосується низової автоматики має бути smart. Інші експерти та джерела ясно вказують, як буде відбуватись промислова діджиталізація – саме через масове впровадження розумних пристроїв (smart devices). Разом з п.3 це дає багаторазове збільшення загальних обсягів ринку АСУ ТП, який сьогодні жаліється на стагнацію та падіння обсягів.

5. Прискорення розвитку учасників ринку АСУ ТП: сьогодні ми відкритим текстом говоримо про консерватизм наших вендорів та інтеграторів (а далі відповідно – й замовників). Тренди 4.0, зближення та здорова конкуренція з ІТ дадуть потужний поштовх нашому ринку й це насправді давно потрібно. При цьому ми чітко орієнтуємось на ключову різницю між трендами ІоТ (де вже домінує ІТ) та Industry 4.0 (перевага залишиться за АСУ ТП).

6. Як продовження попереднього – це виведе на арену нових, більш конкурентоздатних гравців, а також сприятиме розвитку експортного потенціалу та вітчизняного виробника. Прикладів як Luxoft Energy, який вже створює АСУ диспетчеризації-управління електроенергією для найбільших брендів та замовників світу стає більше і це добре. Розробники з Luxoft на голову випереджають наших «класичних» промислових інтеграторів, оскільки володіють та використовують саме нові технології, і також знають міжнародні стандарти.

7. Ці тренди також однозначно прискорять реформування системи освіти: подібно як бізнеси дивляться на ІТ як зразок для наслідування в області agile, так само й наші ВНЗ та провайдери освітніх послуг розуміють, що треба переорієнтуватись на он-лайн та інтерактивне навчання.

Про світові виклики

Водночас нові тренди несуть з собою нові виклики. Клаус Шваб пише в своїй статті про наступне:

Існує чимало побоювань щодо безробіття та розподілу світового багатства – бідні країни можуть всеж стати ще біднішими, але й багаті країни можуть очікувати значні потрясіння в зв'язку з масовою роботизацією виробництв.

Оскільки ключовий фактор розвитку – це таланти та професійні кадри, вони вже вимиваються багатими країнами. Також багаті країни на рівні прав власності володіють всіма новими технологіями. Відповідно бідні країни вже стають сировинним та кадровим придатком для багатих.

Зростатимуть загрози кібер-безпеки – чимало опитувань в світі вказують на занепокоєння керівників щодо нових загроз кібер-атак.

Є й інші загрози, але в цілому Клаус Шваб зазначає, що швидкість та переваги інновацій, які несе 4-а промислова революція, та швидкість зростання розривів та негативних явищ, що з нею пов'язані, важко передбачити та зрозуміти до кінця. Ясно одне – виграють ті, хто свідомо до цього підходить та планує необхідні зміни на рівні галузей, держави, нації.

Чи планує ці зміни Україна?

Чимало країн світу вже розпочали свій шлях в 4-ій промисловій. Платформи, подібні німецькій Industrie 4.0, існують в різних країнах. Штати давно, хоча й з меншим втручанням держави, розвивають напрямок Digital у всіх сферах. В промисловій автоматизації їх ініціатива Industrial IoT (IIoT) давно об'єднала десятки відомих брендів в консорціумі з такою ж назвою. А сьогодні вони об'єднались з платформою Industrie 4.0. Франція запустила ініціативу The Industry of the Future – й подібно німцям теж на державному рівні. Вона включає 34 ініціативи, направлені на різні сфери економіки країни. Мають свої потужні ініціативи Індія та Китай. Великі конференції, присвячені 4-ій промисловій революції йдуть по всій східній Європі. Інші сусіди, як Туреччина вже який 3-ій рік проводять під цим прапором конференцію присвячену темі supply chain, а також залучають інвесторів в свої техно-парки в рамках європейської ініціативи Factory of the Future. Навіть Африці на сайті всесвітнього економічного форуму присвячено цілий ряд статей, – деякі з гучними заявами «Африка має стати хабом 4-ої промислової революції». Автори мають при цьому на увазі, що попит, економічні та соціальні проблеми можуть вирішуватись сьогодні набагато швидше – наприклад, проблеми вакцинації вирішуються вже з допомогою дронів, мобільний зв'язок допомагає в інших задачах охорони здоров'я, передаючи своєчасно необхідні дані про хворих. Але головне – Африка має найбільший потенціал зростання і в 2050 буде наймолодшим континентом світу.

Україна поки що визначається. В недавньому звіті WEF ми не попали в перелік 43-х країн, які є першими бенефіціарами 4-ої промислової. Хоча Росія, Казахстан та Польща там є. Але здається рух пішов. Після останнього Давосу всі кинулись під прапор 4.0 – IT, бізнес-школи й політики, як завжди, найбільш динамічні. Київський міжнародний економічний форум, спланований на жовтень, проходитиме теж під гаслом 4-ої промислової. Але чи говоритимуть там про конкретні речі, які вже потрібні

нашим промисловцям? Сумніваємось – навіть останній iForum – найбільший інтернет-форум в Україні, де було заявлено вже чимало вказаних технологій, ні словом не згадав про українську промисловість.

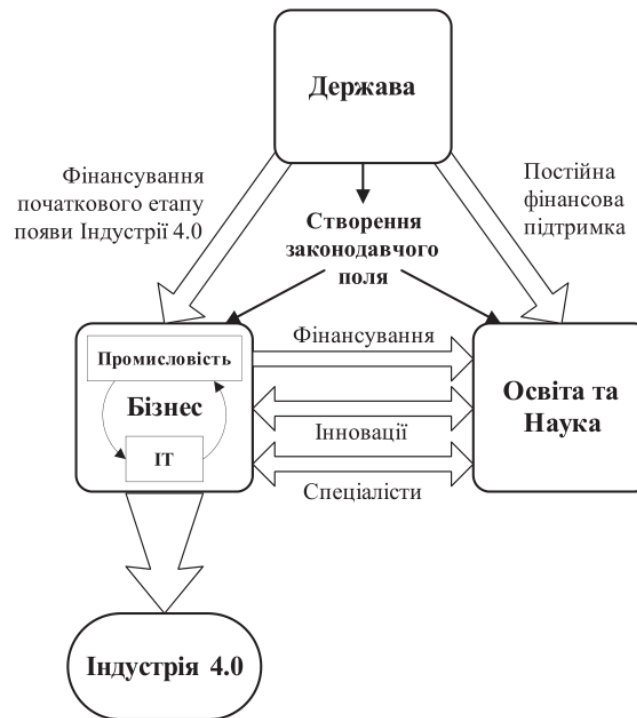


Рис.1.2 Рис. 1. Концептуальна схема взаємодії розвитку Четвертої індустріальної революції в Україні

Водночас, 99% гравців ринку промислової автоматизації просто «спить» – навіть великі міжнародні бренди, присутні в Україні, не знають з якого боку наближатись до трендів 4.0 та чи їй взагалі потрібно. Між тим, великі замовники – перші інноватори з нашої металургії та харчової промисловості вже б'ють тривогу – рішень по ряду нових напрямків, та які вже потрібні, – в Україні немає.

Важливо також розуміти, що контексті 4.0 ми говоримо про комплекс факторів, які рухають сучасне виробництво. Мова сьогодні йде не тільки про інше оподаткування чи умови залучення інвестицій, не тільки про технопарки, але й про зовсім інші речі, які стосуються культури інновацій, розвитку та співпраці – й усе це навряд чи до парламентарів.

Головний виклик хай-тек спільнот – об'єднатись!

На сьогодні в нашій асоціації очевидно, що:

«Чистий» ІТ-сектор далекий від розуміння промисловості та виробничих технологій. Водночас ІТ на голову попереду в технологіях, що є базою 4.0. ІТ вже сформували нову освітню інфраструктуру, яка може відроджувати кадри, в той час як АСУ ТП та інші промислові сектори навпаки – щороку втрачають кадри і за 20 років тільки розгубили свій потенціал.

Традиційні бренди – лідери промислових АСУ – вендори та інтегратори дуже добре почувають себе в промисловості. Але вони надто неповороткі та консервативні, щоб швидко реагувати на нові тренди. Зараз вони взагалі розгублені і не розуміють «навіщо це все».

Від держави немає й бути не може найближчі 2-3 роки жодних, серйозних зрушень – «хребет» Системи виявився незламним навіть після 2-х Майданів.

Україна вже відстає від усіх сусідніх, великих країн й найбільше це відставання саме в промисловому напрямку. І якщо дивитись на структуру нашого експорту – ми вже є сировинним придатком, до певної міри – і в ІТ також. «Пилесос» викачування кращих кадрів на Захід включений на повну потужність.

Водночас ми все ще маємо потужний потенціал – талановитих розробників, систему освіти, досвідчених інтеграторів та доступність до кращих, світових технологій.

Відповідно, головний виклик полягає в тому, щоб об'єднатись з ІТ-сектором, іншими хай-тек спільнотами та спільно спрямувати загальний рух на швидшу модернізацію української промисловості, масово та швидко впроваджуючи нові технології 4.0.

Якщо ми це зробимо, то надамо новий імпульс українському промисловому (і не тільки) сектору й будемо займати своє, не останнє місце

серед високотехнологічних країн. Якщо ні – тренд «Україна – сировинний придаток» остаточно домінуватиме у всіх галузях.

1.2. Вимоги і характеристики ЗМ в умовах високошвидкісної і високоточної обробки

Основні вимоги до ЗМ

У автоматизованих металорізальних верстатах ЗМ виконують значний вплив на точність і продуктивність обробки деталей, визначають режими і якість обробки, можливість скорочення припусків на подальші операції і зменшення кількості операцій. Надійність закріплення рухомих вузлів і автоматично змінюваних різальних інструментів після їх установки в необхідне положення, що особливо важливе в прецизійних верстатах і верстатах з програмним управлінням, визначає точність і стабільність обробки деталей. Швидкодія затискних механізмів дозволяє скоротити допоміжний час на установку, закріплення заготовок і знімання оброблених деталей, установку і закріплення рухомих вузлів і різальних інструментів в автоматичному циклі роботи.

Отже, принцип надійного затиску можна сформулювати таким чином: для того, щоб надійно і швидко затиснути (закріпити) об'єкт, необхідно протягом мінімального або заданого часу прикласти певні сили з боку одних поверхонь (що затискають) до інших поверхонь (що затискаються) так, щоб за допомогою опорних, фіксуючих і стопорних елементів нерухомо і точно зафіксувати об'єкт або створити сили зчеплення (тертя) між ними, що виключають їх відносний зсув, вібрації під дією власної ваги і зовнішніх сил (різання, відцентрових) і запобігаючи деформації, спотворення форми і якості поверхні об'єкту закріплення.

Важко створити ефективний ЗМ, що задовольняє вимогам забезпечення високої точності і отримання великих зусиль закріплення, тому проектування ЗМ повинне базуватися на глибокому аналізі і точному розрахунку

параметрів процесу закріплення при взаємодії основних затискних елементів з об'єктом закріплення.

Основні вимоги, що пред'являються до ЗМ при затиску-розтиску (І стан) і різанні (ІІ стан) і які пояснюють велике різноманіття конструкцій, показані у вигляді структурної схеми на рис.1.3 [2]. Окрім основних, до ЗМ ставляться також додаткові і спеціальні вимоги: швидка змінність і переналагоджуваність, легкість регулювання, широта діапазону, захищеність, ремонтпридатність, можливість автоматичного регулювання параметрів затиску або дистанційного керування, безшумність, безпека роботи і ін. Таким чином, основні і додаткові вимоги до ЗМ витікають з вимог, що ставляться до верстата, технологічного процесу і що визначають точність і продуктивність обробки при високій якості продукції, що випускається. Розглянемо детальніше деякі вимоги.

Створювана в процесі різання сила діє однаково на інструмент і заготовку. Основну проблему складає закріплення заготовки із-за частої її змінюваності, оскільки інструмент змінюється тільки після зношення і при дії сил різання додатково притискається до поверхні базування і закріплення. Заготовка в основному утримується в ЗМ за рахунок сил тертя і зчеплення, які змінюються в широкому діапазоні. Сили затиску заготовки, інструменту або рухомого вузла верстата повинні забезпечувати жорсткість контакту зв'язаних поверхонь, запобігати їх зсуву під дією сил в процесі обробки, виникнення вібрацій і неприпустимі деформації елементів системи. Сила затиску повинна створити попередній натяг системи, що перевищує дію інших сил (різання, інерція), і при цьому знаходитися в певних межах. Вона не може бути менше сили, що забезпечує продуктивну і точну обробку деталей, і не може бути надмірно великою і такою, що викликає неприпустимі деформації оброблюваних деталей і елементів верстата, а також підвищене зношення механізму.

Необхідні сили затиску можна аналітично визначити тільки для простих конфігурацій товстостінних деталей. Для тонкостінних деталей

складних конфігурацій сили затиску часто приймають по аналогії з силами, що діють в перевірених при експлуатації ЗМ. В цьому випадку необхідно забезпечити в проектованій конструкції можливість регулювання сил затиску. При створенні таких ЗМ проводять спеціальні експерименти для визначення сил затиску і вибору місць розташування основних і додаткових опор.

Сили затиску, необхідні для запобігання зсуву заготовки в процесі обробки, приблизно визначають з рівнянь статички [3-5,6]. Для прийнятої схеми закріплення заготовки розглядають умови рівноваги прикладених сил (сил різання і інших, що виникають в процесі обробки, сил затиску, які визначаються, реакцій опор і сил тертя). Для перевірки точності обробки деталей виконують додаткові розрахунки питомому тиску, що виникає в стиках, деформацій заготовки і елементів системи. Ці перевірочні розрахунки можуть виявити необхідність уточнення або зміни схеми установки і закріплення заготовки, зміни режимів обробки. Деформація системи розраховується по пружних характеристиках окремих елементів і контактної жорсткості стиків між ними. Експериментальні дослідження показали, що із збільшенням тиску затиску коефіцієнт контактної податливості спочатку різко зменшується, а потім при тиску вище 3,0...3,5 МПа для шліфованих і шаброваних поверхонь майже не міняється. Якщо небезпеки розкриття стиків під навантаженням немає, то підвищувати тиск понад 3,0...3,5 МПа для збільшення жорсткості стику не рекомендується.

При обробці на верстатах заготовок, що утримуються силами зчеплення в затискних елементах, складові сил різання можуть викликати прокручування заготовки від крутного моменту різання, проковзування від осьових сил різання, поворот відносно точки опори від згинаючих моментів, а також зсуву від поєднань дії цих складових.

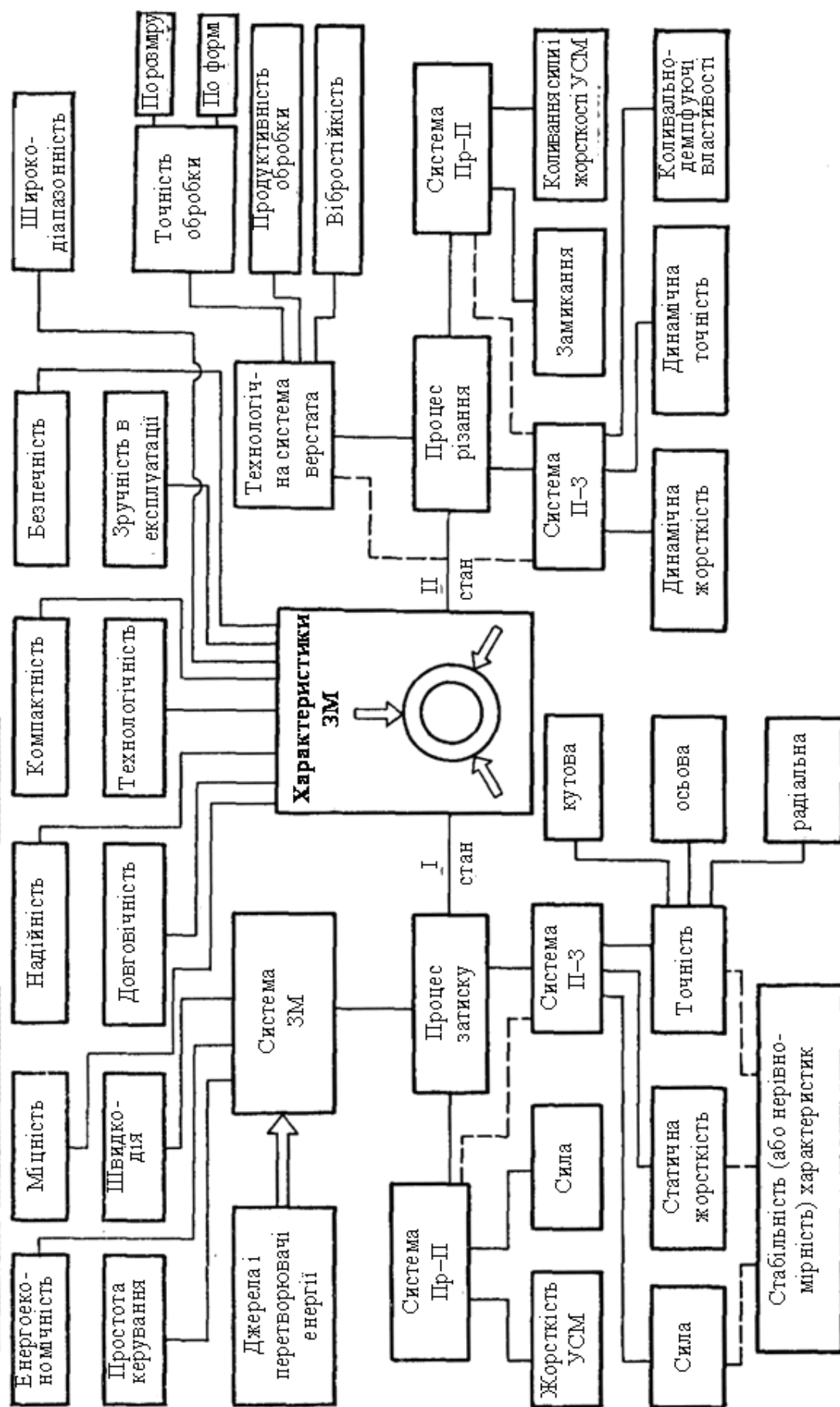


Рис.1.3. Структура основних і додаткових вимог до ЗМ

У верстатах з ЧПУ і верстатних системах тривалість операцій, пов'язаних з маніпулюванням заготовками і інструментами (завантаження–розвантаження, затиск-розтиск, перекантування, зміщення і т.д.), робить істотний вплив на загальний баланс часу виконання технологічних операцій. Існують технологічні системи з автоматичним циклом управління, в яких операції так розчленовані, що тривалість допоміжних рухів співрозмірна з машинним часом. Тому тривалість затискних операцій повинна бути зведена до декількох секунд або доль секунд.

По швидкодії серед конструкцій ЗМ слід віддати перевагу вакуумним, пневматичним і магнітним. Окрім використання швидкодіючих приводів робочого переміщення затискних елементів, необхідно створювати такі ЗМ змінної структури, робочий хід затиску яких гранично малий і служить тільки для натягу системи, а зазор при переході на інший розмір оброблюваної заготовки вибирається додатковими кінематичними ланцюгами з великою швидкістю. Відмову або несправність ЗМ слід розглядати не тільки як аварію, але і як відхилення від нормативної заданої характеристики, обумовленої в стандартах.

Правильне функціонування ЗМ зв'язане з узгодженими діями інших механізмів верстата і виробленням сигналів про наявність оброблюваної заготовки; про включення приводу затиску; про регулювання сили затиску до заданого значення; про досягнення заздалегідь заданої сили затиску; про виключення механізму або перемикання його на встановлений режим роботи; про остаточне відключення. Надійність роботи ЗМ визначає значення коефіцієнта готовності верстата і технологічної системи в цілому [7, 8, 9].

Для ЗМ, що застосовуються у верстатах з ЧПУ і ГПС, домінуючими вимогами стають гнучкість, швидка переналагоджуваність і широкодіапазонність.

Застосування ЗМ, що задовольняють цим вимогам, дозволяє обробляти заготовки мінімальними партіями в режимі «безлюдної технології».

Вимоги до ЗМ можуть бути виражені кількісно через відповідні характеристики [3,10,11,12]: кінематичні, розмірні, силові, енергетичні, жорсткісні, точності, динамічні.

Величина і розкид характеристик ЗМ залежать від якості їх виготовлення і регулювання.

Характеристики точності ЗМ визначають його здатність зберігати положення деталі після завантаження (подачі) і затиску. Ці характеристики оцінюють похибками виготовлення самого патрона, похибками подачі і закріплення, які визначають величинами порушеного положення закріпленої деталі на вильоті.

Шляхи забезпечення характеристик ЗМ

При проектуванні ЗМ доводиться вирішувати багаторівневі задачі різної складності [2], пов'язані з пошуком і вибором принципів затиску, тобто керівних технічних ідей, структури для кращого принципу затиску, схеми для цієї структури і конструкції з кращими (оптимальними) параметрами, що реалізовує вибрану схему.

При системному підході необхідно розглядати ЗМ в загальній технологічній системі і вид перетворювачів енергії для нього повинен узгоджуватися з джерелом і перетворювачами енергії всього верстата. Такий підхід дозволяє змінювати шляхи перерозподілу всієї енергії, необхідної для формоутворення деталей, що обробляються на верстаті. Одними з таких шляхів є: введення автоматичного регулювання сили затиску залежно від сил і умов різання, схеми навантаження і точності обробки; відключення приводу від джерела енергії з використанням геометричного замикання або фрикційного (самогальмування); введення акумуляторів енергії і т.д.

1.3. Вплив затискних механізмів і технологічного оснащення на техніко-економічні показники токарних верстатів

Розглянемо це на прикладі затискного механізму (ЗМ) токарних пруткових автоматів [13]. Підвищення технічного рівня токарних автоматів потребує покращення динамічних характеристик їх основних вузлів і механізмів, серед яких важливе значення має шпиндельний вузол з цанговим ЗМ, що представляє собою систему шпиндель-патрон-деталь (Ш-П-Д). Одним з недоліків токарних автоматів, що знижує техніко-економічні показники і обмежує технологічні можливості, є низька і нестабільна жорсткість системи патрон-деталь (П-Д) з одинарним затиском [14]. Це суттєво впливає на утворення похибок оброблюваних деталей, призводить до необхідності підвищення припусків на наступні операції і обмежує частоту обертання довгого прутка внаслідок можливого підвищення рівня вібрацій. Стабілізація жорсткості системи П-Д по кутовій координаті зменшує відхилення від круглості оброблюваних поверхонь, що особливо необхідно при обробці коротких високоточних деталей типу кілець підшипників [15]. Крім того підвищується вібростійкість верстатів та режими різання.

В роботах по дослідженню динаміки верстатів систему П-Д не окремо виділяли [1, 29], а розглядали переважно шпиндельний вузол із заготовкою, що не дозволяло встановити шляхи підвищення динамічної якості верстата за рахунок поліпшення показників ЗМ. В переважній більшості рекомендації зводилися до зниження динамічної податливості шпиндельного вузла з опорами при збереженні конструкції ЗМ. В певній мірі це пояснюється тим, що багато досліджень без різання проводили при знятому затискному патроні, а також тим, що багатьма дослідниками робились припущення про високу жорсткість ЗМ і не враховувався взаємозв'язок процесів встановлення і обробки деталей [16].

Встановлення деталі супроводжується комплексом фізичних явищ, серед яких: пружні відтискання в приводі ЗМ і системі П-Д; пружні та

пластичні деформації деталей та стиків і порушення фізичних зв'язків між ними; теплові, гідро- і газодинамічні та електромагнітні явища та ін.

Всі фактори, що впливають на величину відхилення основних характеристик затиску (силу, жорсткість, точність, швидкодію), можна розділити на чотири основні групи:

- характеристики заготовки (матеріал і його фізико-механічні властивості; відхилення розмірів, форми і шорсткості поверхні, що стискається; маса, довжина, форма поперечного перетину та ін.);

- принцип затиску, структура, схема і конструктивні параметри ЗМ, що визначається видом силового потоку в системі привод-патрон, тип силового контуру ЗМ, приводу, патрону і напрямку затискного зусилля П-Д;

- кінематичні і динамічні фактори (закони руху і маси ланцюгів; відцентрові сили невідновлених частин; сили тертя і зчеплення та їх розкид; частота і амплітуда коливань; жорсткість і демпфіруючі властивості стиків і самих деталей ЗМ; схема навантаження заготовки) та їх відхилення;

- взаємодія по циклу і навантаженню з іншими механізмами верстата.

Основні характеристики ЗМ, механізмів подачі (МПП) і упору (МУП) прутка, які виражені через показники якості встановлення, впливають на процес різання [17, 18].

На структурній схемі (рис. 1.4) показаний взаємозв'язок між вхідними (початковими) параметрами, що задаються конструктором [матеріал і розміри оброблюваних деталей (*Д*)] при розробці нового і модернізації діючого верстата [вимоги до механізмів управління (*МУ*), робочих ходів (*МРХ*), які мають головний рух (*ГР*), робочу подачу (*РП*) і холості ходи (*МХХ*), зокрема до системи ЗМ, яка містить перетворювач енергії (*ПЕ*), привод (*Пр*) і виконавчий орган – затискний патрон (*П*); циклограма роботи (*ЦГ*)] і технологом [верстат, пристосування - затискний патрон (*П*), Інструмент (*Ін*), схема і режим обробки (*РЖ*)], проміжні параметри, що визначають якість встановлення (завантаження, базування і закріплення

заготовки), і вихідними параметрами, що визначають ефективність обробки деталі.

До проміжних параметрів за ступенем важливості відносяться: сила затиску C_3 , статична жорсткість затиску $Ж_C$, точність встановлення радіальна TB_P і осьова TB_O , міцність елементів M_E , широкодіапазонність $Ш$, швидкодія $Ш_Д$, швидкохідність $Ш_Х$, металоємкість M_T і технологічність T_X . Ці показники характеризують ступінь досконалості ЗМ. Стабільності силових, жорсткісних і точнісних характеристик встановлення останнім часом стають більш важливими показниками, тому що вони переважно визначають основні показники механічної обробки деталі.

Вихідні параметри характеризуються технологічними показниками як результат впливу процесу різання в даній технологічній системі верстата на деталь [досягнута точність обробки по діаметру (TO_d) і довжині (TO_l), якість поверхні ($K_{ПОВ}$), інструмент, верстат і ЗМ (надійність H і довговічність D)]. Ці параметри та їх стабільність в значній мірі визначають продуктивність ($ПО$), сталість ($СО$) і економічність ($ЕО$) обробки.

Якщо механізм процесу різання вивчений достатньо добре, то механізм процесу встановлення заготовки в пруткових автоматах, як і в інших металорізальних верстатах, вивчений недостатньо. Повне уявлення про нього з врахуванням впливу багатьох факторів дозволяють розв'язувати задачі не тільки аналізу, але і синтезу ЗМ з необхідними характеристиками.

Функціональні зв'язки між елементами структурної схеми визначають основні функції, що характеризують в сукупності математичну модель структурної схеми встановлення і обробки деталі з відокремленням впливу встановлення на процес різання при постійних параметрах технологічної системи верстата, які не зв'язані через навантаження з системою ЗМ (див. рис. 1.4).

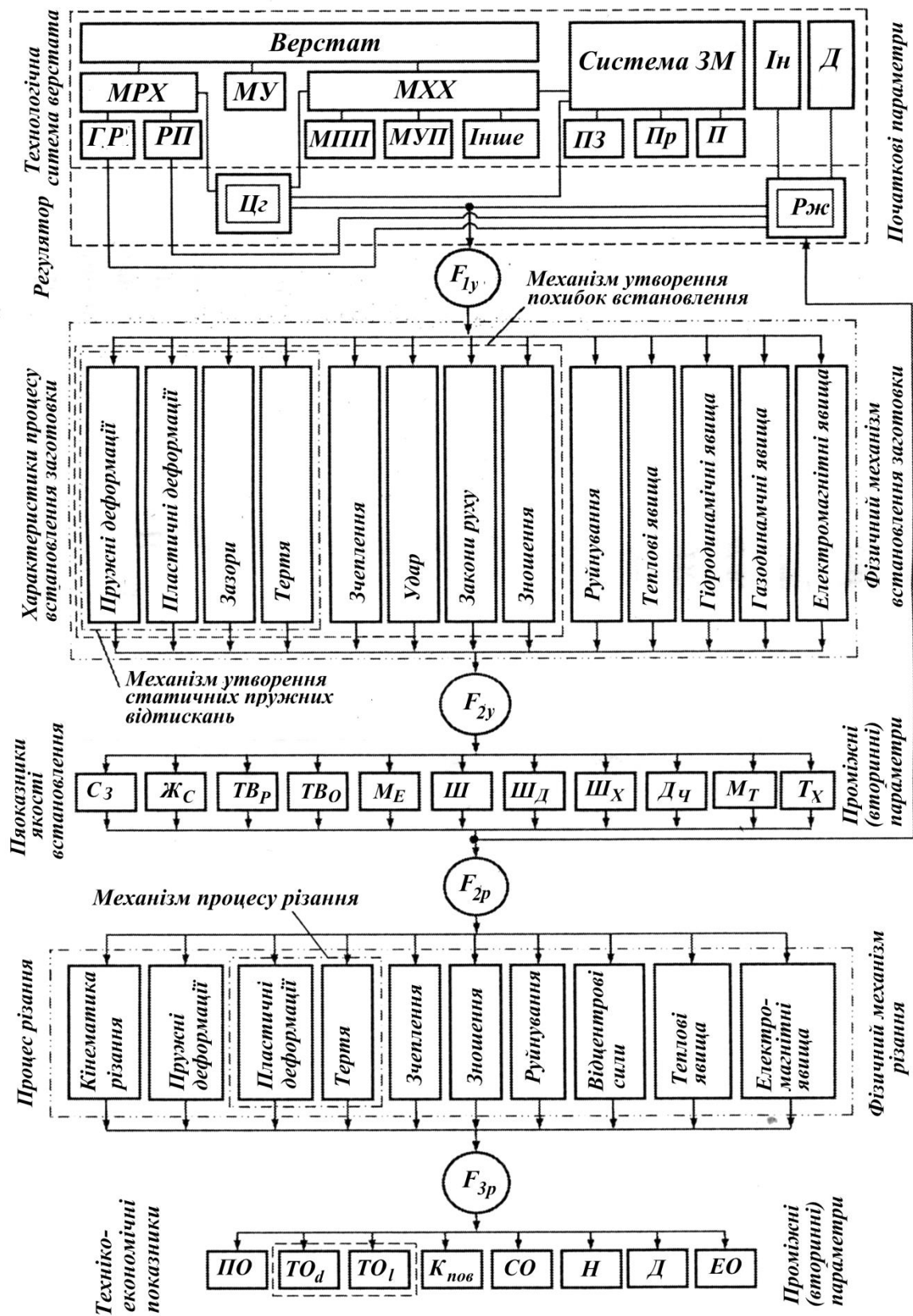


Рис. 1.4. Структурна схема процесів встановлення та різання заготовки на прутковому автоматі

Функції F_{1y} зв'язують вхідні параметри з процесом встановлення; F_{2y} – процес встановлення з показниками якості встановлення; F_{3y} – процес різання з вихідними параметрами у вигляді техніко-економічних показників верстата.

Основним результатом досліджень ЗМ є теоретичне і експериментальне отримання функцій $F_{12} = f(F_{1y}, F_{2y})$, що зв'язують проміжні параметри (вторинні) з вхідними (первинними), а також експериментальне отримання функцій $F_{3y} = f(F_{2y}, F_{2y}, F_{3p})$, що зв'язують вхідні параметри верстата і механічної обробки з процесом встановлення.

Отримані функції можуть бути представлені у вигляді математичних (аналітичних і емпіричних) залежностей і графічно за результатами експерименту і розв'язання задач на ЕОМ.

Стабілізація і регулювання сили затиску на токарних автоматах і токарно-револьверних верстатах сприяють максимальному використанню резервів ЗМ з точки зору підвищення продуктивності і точності обробки, економії енергії і скорочення витрат металу в стружку [19, 17, 20].

Пояснюється це тим, що, якщо при зміні діаметра прутка Δd радіальна сила затиску змінюється від $T_{\Sigma min}$ (для d_{min}) до $T_{\Sigma max}$ (для d_{max}), то, з точки зору надійної обробки, режими різання визначаються за $T_{\Sigma min}$ (для d_{min}). Встановлено, що коефіцієнт перенавантаження λ_t при $\Delta d = 0,5$ в цангових ЗМ з силовим замиканням складає $1,5 \dots 2$, а з геометричним – $1,5 \dots 4$ і більше, що залежить від жорсткості приводу затиску.

Можливість роботи ЗМ при стабільній і оптимальній або максимальній радіальній силі ($T_{\Sigma max} = Const$) у випадку відхилення Δd прутка, що обробляється (особливо гарячекатаного), створює резерв для роботи на оптимальних підвищених режимах. Оптимальна сила затиску $T_{\Sigma opt}$, з одного боку, визначається режимами різання, жорсткістю системи П-Д, а з другого – відсутністю зминання, руйнування і скривлення форми деталі, міцністю і довговічністю ЗМ.

На прикладі поперечного точіння деталі видно [17], що можливість роботи цангового ЗМ при стабільній і оптимальній силі ($T_{\Sigma} = Const$) у випадку відхилення Δd забезпечує підвищення продуктивності обробки за рахунок підвищення подачі S на величину ΔS , тобто

$$\frac{\Delta S}{S} = \lambda_T^{1/y_p} - 1 = [1 + (\varepsilon_T \Delta d) / T_{\Sigma}]^{1/y_p} - 1, \quad (1.1)$$

де y_p – показник степені у формулі головної складової сили різання P_z ;

$\varepsilon_T = \Delta T_{\Sigma} / \Delta d = (T_{\Sigma \max} - T_{\Sigma \min}) / \Delta d$ – показник нестабільності радіальної сили затиску.

При відсутності перенавантажень в ЗМ з геометричним замиканням для $\lambda_T = 1,5 \dots 4$ резерв відносного підвищення продуктивності за рахунок стабілізації сили затиску досягає $\frac{\Delta S}{S} = (1,5 \dots 4)^{1/0,75} = 0,7 \dots 5,3$, тобто в середньому 300 %.

1.4 Аналіз раніше проведених досліджень по високошвидкісним і високоточним ЗМ

Підвищення продуктивності та точності верстатів пов'язане з точністю та якістю виготовлення та складання окремих деталей та його вузлів. Одним з основних вузлів будь-якого верстата є шпиндельний вузол, до якого, в свою чергу, також пред'являються ряд вимог. До них відносяться: навантажувальна здатність; точність; швидкохідність; надійність; жорсткість; динамічні характеристики; теплові характеристики.

Крім перерахованих вимог повинно бути забезпечене точне, надійне, швидке та автоматичне закріплення інструмента або оброблюваної заготовки в шпинделіверстата [21 - 28]. А це залежить від того який ЗМ або інструментальна система (ІС) використовується в верстаті. Який її ступінь автоматизації та простота конструкції. Дана робота присвячена врахуванню вимог, що пред'являються відносно ЗМ.

Значні теоретичні та експериментальні дослідження ЗМ та їх практичне застосування зробив Ю. М. Кузнєцов, який є засновником школи з

дослідження ЗМ в НТУУ “КПІ” на кафедрі “Конструювання верстатів та машин” та багатьох наукових установах нашої країни та за її межами (Болгарія, Ангола). А також його учні І. О. Іванюк, В. М. Ахрамович, В. І. Сідорко, І. Л. Куліш, В. Б. Фіранський, Ель-Дабас Хасан, О. А. Гуменюк, П.М. Неделчева та інші.

Багато положень по проектуванню та дослідженню ЗМ Ю. М. Кузнецов виклав у своїх докторській та кандидатській дисертаціях [29, 30]. Морфологічний синтез по проектуванню ЗМ та ІЗП представлений в ряді його монографій та навчальних посібників. Також питання проектування ЗМ розглянуті в багатьох працях Ю. М. Кузнецова. В своїй докторській дисертації Ю. М. Кузнецов розглядав основи теорії проектування автоматичних ЗМ для тіл обертання та принципи їх оптимального проектування та основі структурного синтезу.

В дисертаційній роботі В. Б. Фіранського [31] було досліджено пружно-напружений стан та силові характеристики ІЗП нової конструкції. Автор представив формулу для розрахунку максимального крутного моменту, який можна прикласти до гайки патрона:

$$M_{кр} = 0,2d * q_{max} * S \quad (1.2)$$

де q_{max} – розподілена сила затиску, d – номінальний діаметр гвинтової різьби, S – площа поверхні, на яку діє сила $q_{max} = \frac{[\sigma_B]}{s} * \left(\frac{d}{c}\right)^2$.

Також в роботі проведені теоретичні дослідження за допомогою скінчених елементів.

Автор запропонував схему дії сил ІЗП з гвинтовою цангою

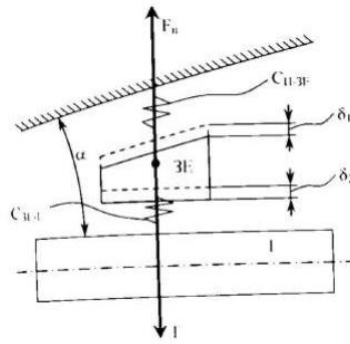


Рис.1.5. Схема дії сил в ІЗП з гвинтовою цангою

Зданої схеми було отримано залежність для розрахунку сил затиску інструменту T_i

$$T_i = T - F_{ц} * \frac{C_i}{C_{п}} \quad (1.3)$$

де $C_{п}$ – жорсткість патрона, C_i – жорсткість хвостовика інструмента, $F_{ц}$ – відцентрова сила, T – сила створена гвинтовим цанговим елементом.

Звідси, можна зробити висновок, що при збільшенні жорсткості затискного елемента відцентрові сили зменшуються і збільшується сила затиску деталі.

Після теоретичних досліджень автор виконав експериментальні дослідження по визначенню силових та жорсткісних характеристик ІЗП. По-перше, до слідження моменту прокручування з отриманням графіка залежності $M_{пр}$ від моменту затиску гайки патрона $M_з$.

По - друге, сили проштовхування, але при розміченні хвостовика інструменту в упор нею можна знехтувати.

По - третє, вимірювання жорсткості або пружних радіальних відтискань.

Також, автор виміряв радіальне биття оправки в ІЗП, але для таких досліджень потрібно виготовляти надточні оправки, що може бути економічно не доцільно. З даних досліджень видно, що основними характеристиками, що потрібно дослідити є момент прокручування та жорсткість патрона, а також його радіальне биття, оскільки це суттєво впливає на точність отриманої поверхні деталі [32].

В роботі Б. І. Придального представлені практичні та теоретичні дослідження затискних пристроїв для швидкохідних токарних автоматів [33]. Він досліджував ПрЗ в токарних автоматах, а саме виконав теоретичні дослідження впливу частоти обертання на силові та енергетичні характеристики ПрЗ, розробив методику теоретичних досліджень ПрЗ з геометричним замиканням та розробив силову модель аналізу ПрЗ. З моделювання силових характеристик було отримано коефіцієнти підсилення ПрЗ для важільного механізму

$$K_{\text{ПВ}} = \text{ctg}(\beta + \varphi) * \left(\frac{b}{a} - \frac{r_0}{a} * \text{tg}\varphi \right) \quad (1.4)$$

На рис.1.6. представлено схему вимірювальних силових характеристик ЗМ з цанговим та важільно-кулачковим ЗП.

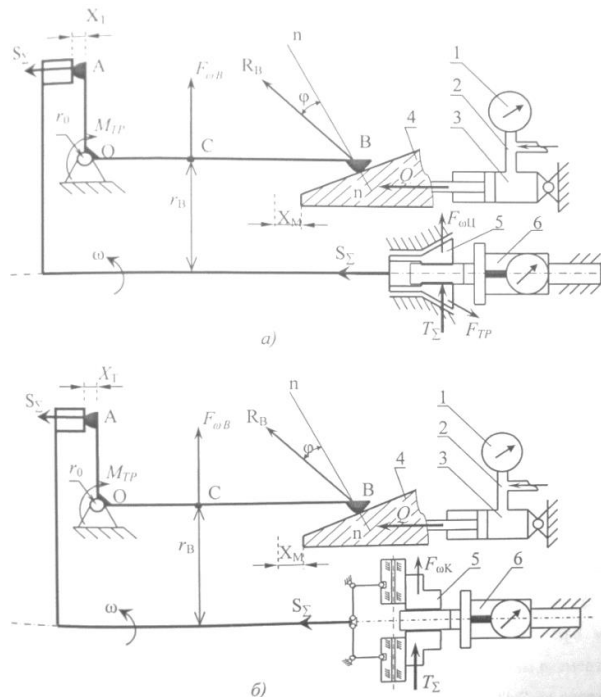


Рис.1.6. Схеми вимірювання силових характеристик ЗМ з цанговим (а) та важільно-кулачковим (б) ЗП

Ці дослідження є важливими для отримання характеристик патронів різного типу та оцінки їх працездатності.

Широкі дослідження ЗМ з гідроприводом зробив в своїх роботах І. О. Іванюк [34]. Він дослідив швидкодіючі ЗМ для токарних автоматів з гідроприводом. В своїй дисертаційній роботі він провів теоретичний аналіз і експериментальні дослідження ЗМ гідроприводом і з гідромеханічним

приводом. І. О. Іванюк використовував ЗМ, в якого затиск відбувається пружинами, а розтиск – гідравлікою. При чому, як пружний елемент можна використовувати як звичайні пружини, так і пакет тарілчастих пружин. Економічність полягає в тому, що спрощується конструкція гідростанції, яка працює тільки в одному режимі.

На рис. 1.7. представлена розрахункова схема ЗМ з гідромеханічним приводом та динамічні моделі при виборці зазору і натягу системи, які використовувалися автором для аналітичних досліджень та розрахунків ЗМ з ГМП.

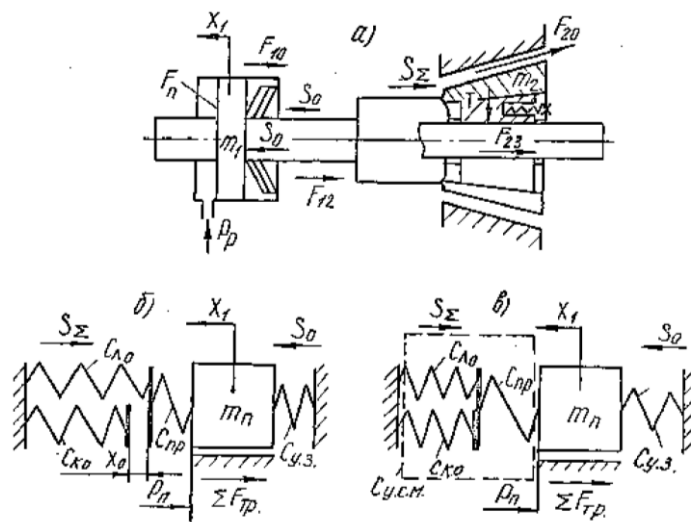


Рис. 1.7. Розрахункова схема (а) і динамічна модель ЗМ з гідромеханічним приводом при виборці зазору (б) і натягу системи (в)

В роботі представлена формула для заходження осьової сили в гідроциліндрі від дії пружин затиску

$$S_0 = K_1 * K_2 + \frac{K_1 * X^2}{\frac{2}{3} * H * \left(1 + \frac{h^2}{H^2}\right)} + \frac{K_1 * X_1^3}{2 * H * (1 + h^2)} \quad (1.5)$$

Формула виведена через жорсткості і показує залежність осьової сили пружини затиску від жорсткості елементів приводу та самого патрона.

Також Іванюк І.О. розглядав енергетичний баланс системи ЗМ з гідроприводом і вивів формулу ефективної енергії при роботі ЗМ [34]:

$$E_{\text{еф}} = \frac{m * S^k * z * h_k^{\frac{1}{m} + 1}}{A_M^{\frac{1}{m} * (1+m)}} \quad (1.6)$$

де A_m , m – коефіцієнти, що обираються відповідно до умов процесу затиску. При $m = 0.6$ залежність (1.5) набирає виду:

$$E_{\text{еф}} \approx 11.2 * S^k * z * h_k^{2.67} \quad (1.7)$$

При експериментальних дослідженнях Іванюк І.О. вивчив статистичні силові та жорсткісні характеристик ЗМ з ГМП.

Аналізуючи працю І. О. Іванюка можна сказати, що використання системи з затиском від пружин, а з розтиском від гідравліки є економічно вигіднішим ніж звичайна гідростанція, але в подальшому буде доцільнішим вести розробки з повною відмовою від гідравлічних систем та перехід до електромеханічних.

В дисертації Аль-Дабас Хасан [35] представлені теоретичні та експериментальні дослідження свердлильно-фрезерного патрону. Автор дослідив характеристики патронів та вплив їх конструкції на якість обробки. За допомогою морфологічного синтезу автор в своїй роботі отримав ексцентриковий свердлильно-фрезерний патрон.

Автор запропонував формулу для знаходження коефіцієнта підсилення даного патрона:

$$K_{\Pi} = \frac{2l_k + D_r}{d_p} * \text{ctd}(\gamma + \varphi_1) * [\text{ctg}(\alpha + \varphi_2) - \text{tg}\varphi_3] * \frac{b}{a} \quad (1.8)$$

де l_k – дожина плеча ключа; d_p – середній діаметр різьби; D_r – зовнішній діаметр конусної втулки; γ – кут нахилу гвинтової лінії різьби; φ_1 – кут тертя в стиках різьби; φ_2 – кут тертя в конічному стикові; φ_3 – кут тертя в плоскому стикові між кулачком і конусом під час повороту кулачка; α – кут нахилу конуса; a, b – плечі.

Експериментальні дослідження проводилися в процесі різання з заміром спектру коливань та побудовою профілограм оброблених поверхонь. Метою досліджень Ю. С. Дмитрієвської є вивчення ІС та підвищення їх віброзахисту при фрезерування на верстаті з ЧПК. Автор провела ряд

теоретичних та експериментальних досліджень ІС, запропонувала методику створення ІС, дослідила частотні характеристики ІС та запропонувала деякі методи віброзахисту ІС. Одним із таких є введення в ІС демпфуючих елементів, які покликані гасити вібрації при роботі верстата, що дає можливість отримати більш-якісно оброблені поверхні. На рис. 1.8 представлена фізична модель ІС з дисковими і торцево-циліндричними фрезами [36].

Умова працездатності даної ІС:

$$2 * f / (1 - f^2) < \operatorname{tg} \alpha < (1 - f^2) / 2 * f \quad (1.9)$$

де f - коефіцієнт тертя; α - кут конуса.

Проблемами точності шпиндельних вузлів займається Федориненко Д.Ю. [37- 39]. Автор у своїх працях досліджує параметри точності шпиндельних вузлів на гідростатичних підшипниках та оптимальні методи оптимізації проектування таких опор. Автор для цього в своїх працях проводить ряд теоретичних та експериментальних досліджень, аналіз яких показує, що вони є досить змістовними і дають змогу отримати підґрунтя для подальших досліджень в цьому напрямку.

Ці дослідження є важливими для оцінки та підвищення вібростійкості ІС, яка в свою чергу впливає на точність обробки.

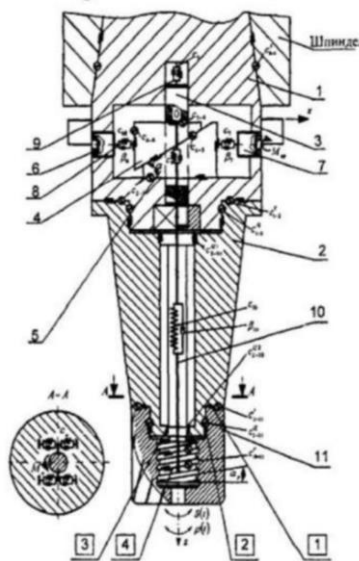


Рис.1.8. Фізична модель ІС

В роботах Сапона С.П. [40] В своїх працях автор пропонує методики по дослідженню точності обертання шпинделя. Запропонована методика експериментального визначення траєкторій обертання шпинделя на основі використання високоточних безконтактних триангуляційних лазерних датчиків положення та цифрових засобів оброблення інформації. З налізу даної праці можна сказати, що це є досить перспективним методом, з використанням сучасних вимірювальних приладів і комп'ютерних систем, що дає змогу точніше дослідити проблеми, що виникають в системі.

Точністю, динамікою, моніторингом і діагностикою ШВ займаються Ю.М. Данильченко, В.І. Дзюба, Р.М. Полінкевич [41].

Глибокі теоретичні та практичні дослідження ЗМ зробив Г. А. Шаумян [88], який сформулював вимоги до ЗМ та основи їх теоретичного дослідження та заповнив основи по проектуванню ЗМ.

Німецький вчений М. Bräunig досліджує [42] в своїй роботі деформацію інструменту та затискного пристрою, що складається з моделювання інструменту і його ЗП з наближеними до реальної роботи технологічними параметрами, такими як, теплові процеси, внутрішні та зовнішні збудники, вплив навколишнього середовища в робочій зоні, умови теплообміну інтерфейсу інструменту та його системи затиску. Експерименти складаються з визначення температурних явищ, розміщення теплових потоків в системі. Два методи дослідження – експеримент і моделювання, доповнюють один одного і забезпечують перевірку зазначених вище параметрів. Ідентифікація температурних полів дозволяє абстрагувати компенсації для того, щоб отримати стабільні термо-пружні характеристик в майбутньому. На рис. 1.10 представлено експериментальний стенд для визначення вищезгаданих параметрів.

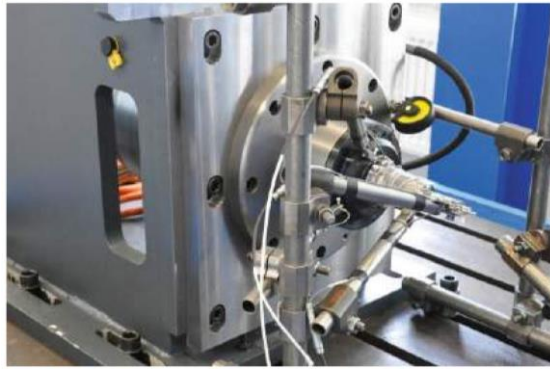


Рис. 1.10. Стенд для вимірювання параметрів та процесів в ІС

На рис. 1.11. представлена моделювання системи для визначення параметрів теоретичним шляхом.

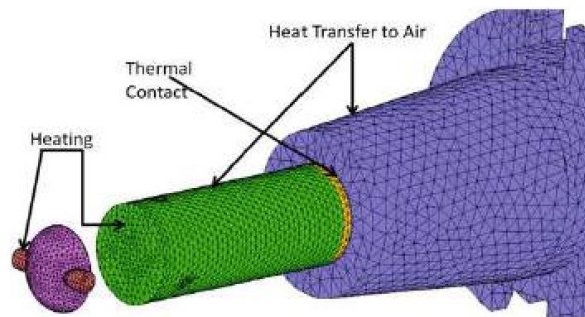


Рис. 1.11. Моделювання процесів в ІС

Результати даної роботи є досить корисними, оскільки здебільшого, вчені проводять дослідження силових та жорсткісних характеристик, а в цій роботі автор досліджує ще й теплові явища та їх вплив на роботу системи.

Китайський науковці Jui P. Hung*, Yuan L. Lai, Tzuo L. Luo and Hsi H. Hsiao в своїй роботі [43] досліджували динамічні характеристики шпиндельного вузла. Використовуючи при цьому як САПР (рис. 1.12) так і експериментальні дослідження.

Аналізуючи дані дослідження кінцевих елементів можна спрогнозувати динамічні характеристики високошвидкісного шпинделя, що дає можливість дослідити навантаження на підшипники і передній кінець шпинделя.

Для підтвердження аналітичних досліджень автори проводять експерименти (рис. 1.13) по дослідженню вібраційних характеристик шпиндельного вузла, які дають змогу побачити реальну картину процесів в вузлі.

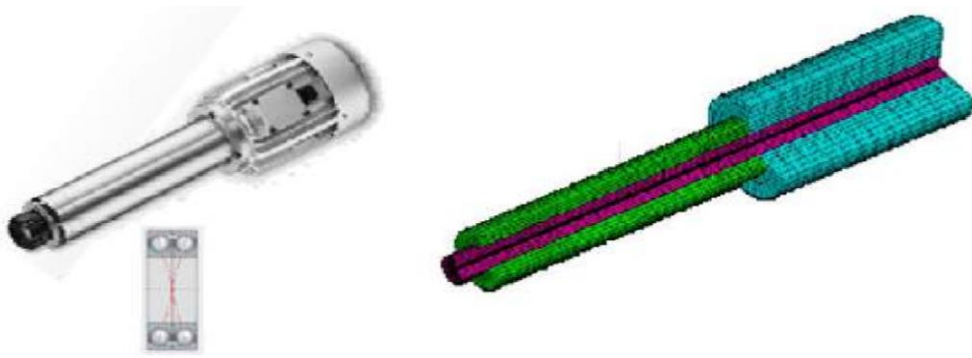


Рис. 1.12. FEA-модель шпиндельного вузла

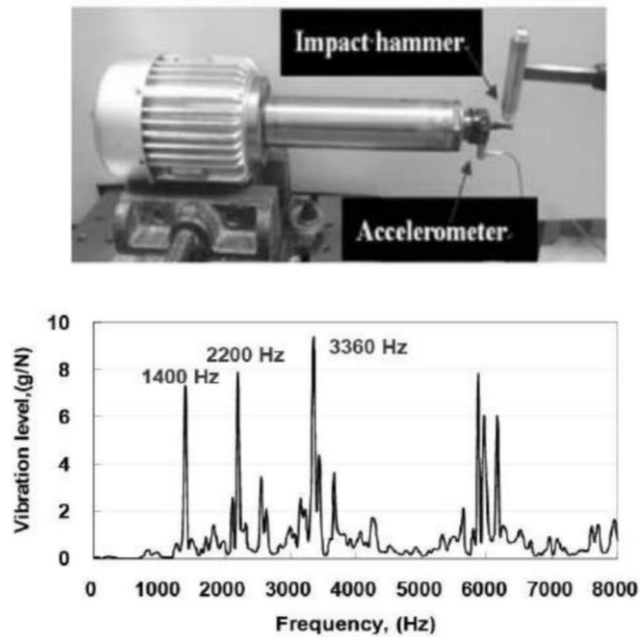


Рис. 1.13. Вимірювання вібрації шпиндельного вузла та частотна характеристика

Схожі дослідження також проводили Deping Liu, Hang Zhang, Zheng Tao and Yufeng Su, які дослідили статичні та динамічні характеристики шпинделя в системі ANSYS (рис. 1.14) [44].

Автори досліджують шпиндель на вібраційні, частотні, статичні та термальні характеристики, по результатам яких можна оцінити проблемні перерізи шпинделя. Результати моделювання кінцевих елементів показують, що підшипники шпинделя підшипника з різними навантаженнями істотно впливають на динамічну поведінку інструментального вузла шпинделя і, також на динамічні характеристики всього верстата.

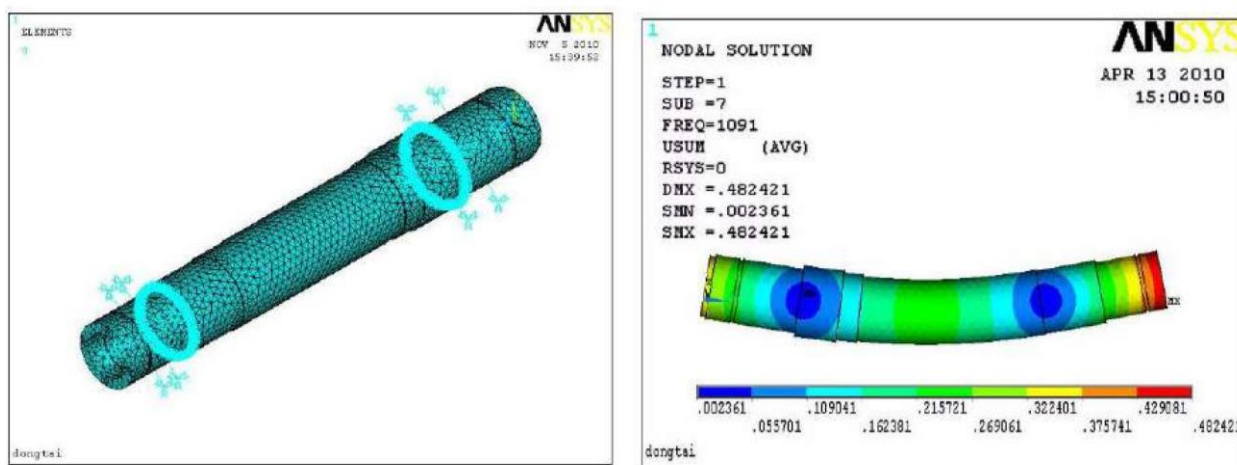


Рис. 1.14. Дослідження ШВ в системі ANSYS

Аналіз даних досліджень дає змогу оцінити фактори ризику, які можуть викинути при роботі системи, ще на етапі проектування не запускаючи шпиндель в виробництво, що є економічно вигіднішим, ніж виготовлення дослідного зразка.

1.5. Мета і задачі досліджень

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності ЗМ в умовах високошвидкісної і високо точної обробки за рахунок використання в конструкції нано-структурних матеріалів.

Для досягнення мети в роботі необхідно розв'язати наступні задачі:

1. На підставі досліджень виконати аналіз схем і конструкцій ЗМ для затиску тіл обертання високошвидкісних і прецизійних шпиндельних вузлів.
2. Виконати аналіз раніше проведених досліджень високошвидкісних ЗМ.
3. Розробити високошвидкісний шпиндельний вузол з використанням нового ЗМ.
4. Теоретично дослідити характеристики і працездатність створеного ЗМ.

5. Розробити практичні рекомендації щодо розрахунку, проектування, удосконалення, експлуатації і впровадження побудованих для високошвидкісних та високоточних ЗМ з використанням нано-структурних матеріалів.

Розділ 2. Патентно – інформаційне дослідження по високошвидкісним і високоточним ЗМ

2.1 ЗМ з силовим замиканням

На рис.2.1 представлений ЗМ для заготовок, який містить рухому відносно шпинделя муфту, призначену для взаємодії з важелями, встановленими на осях у втулці і трубу затиску з регулювальною гайкою, забезпечений встановленими, в виконаних в муфті пазах клиновими елементами, а важелі розташовані на паралельно розміщених між собою осях, причому поверхні клинових елементів призначені для взаємодії з важелями. Кожен клиновий елемент може бути виконаний у вигляді двох подпружинених самовстановлюючих клинів.

ЗМ містить трубу затиску, в яку поміщений пруток 2, пов'язану з трубою затиску 1 затискну цангу 3, розташовану в шпинделі 4, ползуі подачі 5, муфту 6 з клиновими елементами 7. наприклад, у вигляді двосторонніх клинів які призначені для взаємодії з важелями 8, змонтованими в рухомий втулці 9 на паралельних осях 10, диск 11, пакет тарілчастих пружин 12, гайку 13, навернену на втулку 14, що взаємодіє з регулювальною гайкою 15, зв'язаною з трубою затиску.

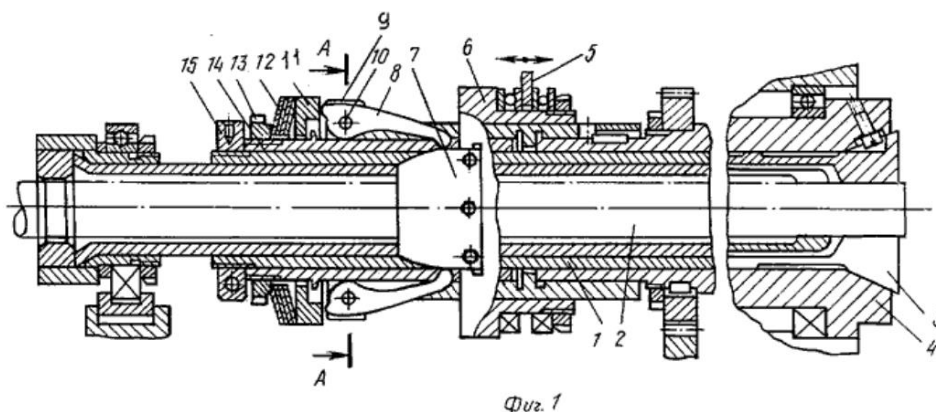


Рис.2.1 ЗМ з механічним затиском для верстатів – автоматів
(а.с.СРСР №1090504)

Профіль робочих елементів 7 вибирається з умов роботи механізму і зазвичай має ділянки вибірки зазору, натягу системи і силового замикання

ЗМ, які можуть бути обмежені похилими прямими або дугами кривих різного радіусу кривизни.

2.2 Електромеханічні ЗМ

У корпусі патрона 1 встановлені кулачки 2 з можливістю радіального переміщення на яких закріплені змінні кулачки 3. Кулачки 2 знаходяться в Т-подібних пазах патрона і мають різбову поверхню, що знаходиться в контакті з різбовою поверхнею гвинтів 4. Гвинти 4 мають кільцеві виточки. В які входять виступи балок 6. Протилежні кінці балок жорстко закріплені в патрона за допомогою гвинтів 6. Балки біметалічні складаються з двох частин. З'єднаних дифузійної зварюванням, одна з яких виконана з магнітострикційного матеріалу. Наприклад нікелю. Балки знаходяться всередині електромагнітних котушок 7, виводи якого проходять в середині корпусу ЗМ та шпинделя до струмознімача 8, що встановлений з зворотньої сторони шпинделя.

Електричний струм від джерела 9 джерела живлення підводиться до строю знімачів електромагнітних котушок 7 через вимикач 10 та змінний опір 11.

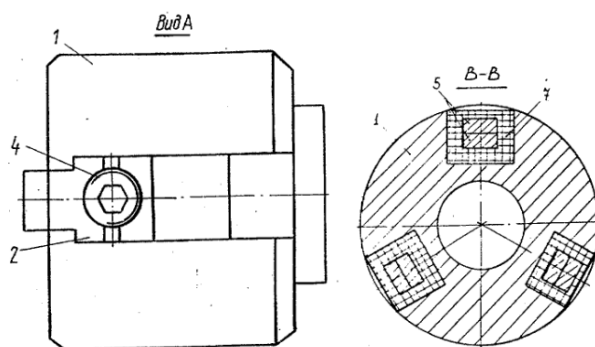


Рис.2.2. Електромеханічний ЗМ за а.с. РСРС №1734961

На рис.2.3 представлений електромеханічний привід, що складається з двохстороннього моментного асинхронного електродвигуна 1, встановленого за допомогою перехідної фланцевої втулки 2 на задній стінці, шпиндельної бабки 3 токарного верстата. Корпус 4 і статор 5 нерухомі, що

дозволяє підводити електричний струм до електродвигуна без застосування спеціальних струмо провідних пристроїв.

Порожнистий вал 6 електродвигуна з'єднується з механізованим патроном 7 за допомогою труби 8, що проходить через шпindel 9 станка. На кінцях трубки 8 знаходяться шліци.

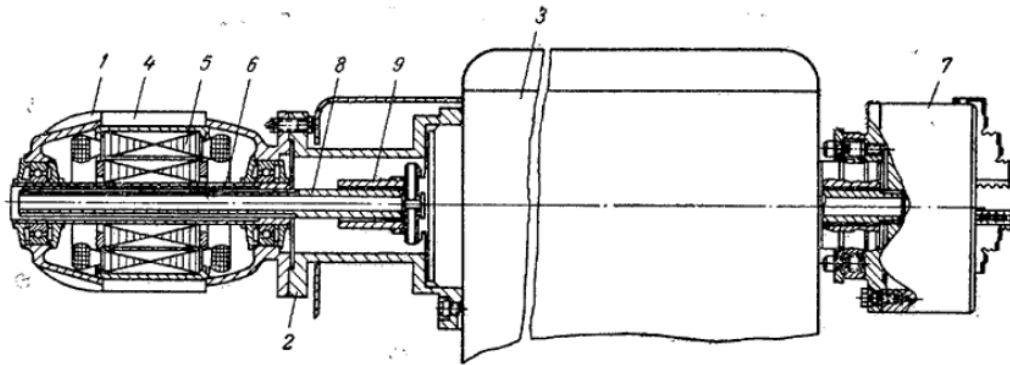


Рис.2.3 ЗМ з використанням електроприводу а.с. РСРС №201877

На рис.2.4 представлений ЗМ в якому у корпусі 1, виконаному єдиним у вигляді монолітної циліндричної труби і що має приєднувальний фланець з різьбовими отворами, розміщені електродвигун 2, планетарний редуктор, що включає в себе центральне колесо 3 зовнішнього зачеплення, жорстко закріплене на валу 4 електродвигуна 2, сателіти 5, нерухомі центральні колеса 6 і 7 внутрішнього зачеплення, з'єднані між собою з метою вирівнювання навантаження за допомогою торсіону 8, розміщеного в отворі вала 4, рухливе центральне колесо 9 внутрішнього зачеплення, поєднане з вихідною ланкою 10, що має фланець 11 і маточину 12 з шліцьовим отвором, в якому розміщений Штрівелі 13. вихідна ланка 10 зафіксована в корпусі 1 з одного боку затягим кільцем 14, а з іншого боку нерухомим центральним колесом.

Електромеханічне затискний пристрій працює таким чином. При включенні електродвигуна 2 обертання вала 4 через центральне колесо 3 зовнішнього зачеплення і сателіти 5 передається на рухоме зубчасте колесо 9 внутрішнього зачеплення, поєднане з вихідною ланкою 10, маючими шліцевий отвір. При цьому штрівелі 13, вкручується в інструмент (на

кресленні не показаний) переміщається від затискного пристрою, а сила тертя, що діє на вихідну ланка з боку штрівеля 13 урівноважується силою, що діє з боку рухомого косозубого зубчастого колеса 9 внутрішнього зачеплення.

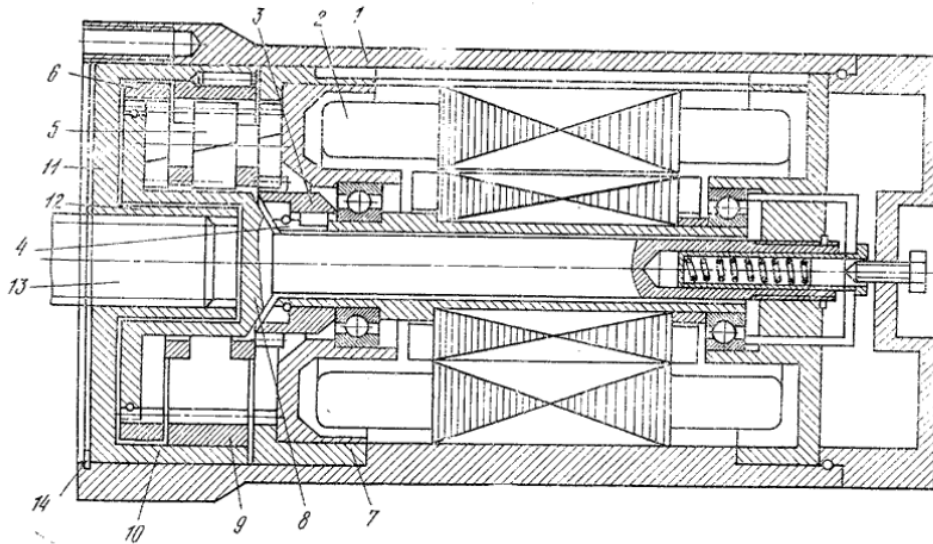


Рис.2.4 Електромеханічний ЗМ з планетарним редуктором
(а. с. СРСР №963710)

На рис.2.5 представлений ЗМ, в якому патрон, встановлений на шпинделі 1 токарного верстата, складається на підставі 2 і корпусу 3, з'єднаних між собою гвинтами 4, центральної клиновий втулки 5, підпружиненої відносно основи 2 пружиною 6, трьох плазунів 7 із закріпленими на них за допомогою шпонок 8 і гвинтів 9 накладних кулачків 10, струмознімачами 11 із захисним кожухом 12. Струмознімач 11 пов'язаний з мідними кільцями 13, закріпленими до основи 2 гвинтами 14. На підставі 2 за допомогою шпильок 5 нерухомо закріплені два електромагніти 16, пов'язані з клиновий втулкою 5 шайбою Патрон включає так ж два важеля 18 з можливістю коливання навколо осей 19, жорстко встановлені в кронштейнах 20. Кронштейни 20 закріплені до корпусу 3 за допомогою гвинтів 21 і штифтів 22. На осях важелів 18 розміщені вантажі 23, пов'язані за допомогою повзунів 24 з зубчастої передачею 25 внутрішнього зачеплення, що складається з двох шестерень 26 і центрального колеса 27. Зубчаста

передача 25 поміщена в торці корпусу 3 і зафіксована від можливості поздовжнього переміщення кришками 28, які прикріплені до корпусу 3 гвинтами 29.

Патрон працює наступним чином. Тягнуть електромагніти 16, з'єднані за допомогою струмознімачем 11 і мідних кілець 13 електричним колом з системою управління верстата, включаються до початку обертання шпинделя! і впливають через шайбу 17, пов'язану з сердечниками електромагнітів, на центральну клинову втулку 5. Втулка 5, долаючи опір пружини 6, переміщається вліво і впливає на три повзуна, які, переміщаючись радіальних пазах корпусу 3. здійснюють через закріплені на них накладні кулачки 10 попередній затиск заготовки 30. При включенні обертання шпинделя 1 і по мірі збільшення числа оборотів остаточний затиск заготовки 30 походить від зусилля, створюваного відцентровими силами двох вантажів 23, які впливають на клинову втулку 5 за допомогою важелів 18. Клинова втулка 5 з клиновими скосами взаємодіє з виконаними під кутом 10° клиновими скосами плазунів 7, що забезпечує збільшення сили затиску при відносно невеликому зусиллі приводу. Велика сила затиску і можливість самогальмування кулачків 10 забезпечує надійну фіксацію при закріпленні заготовки 30.

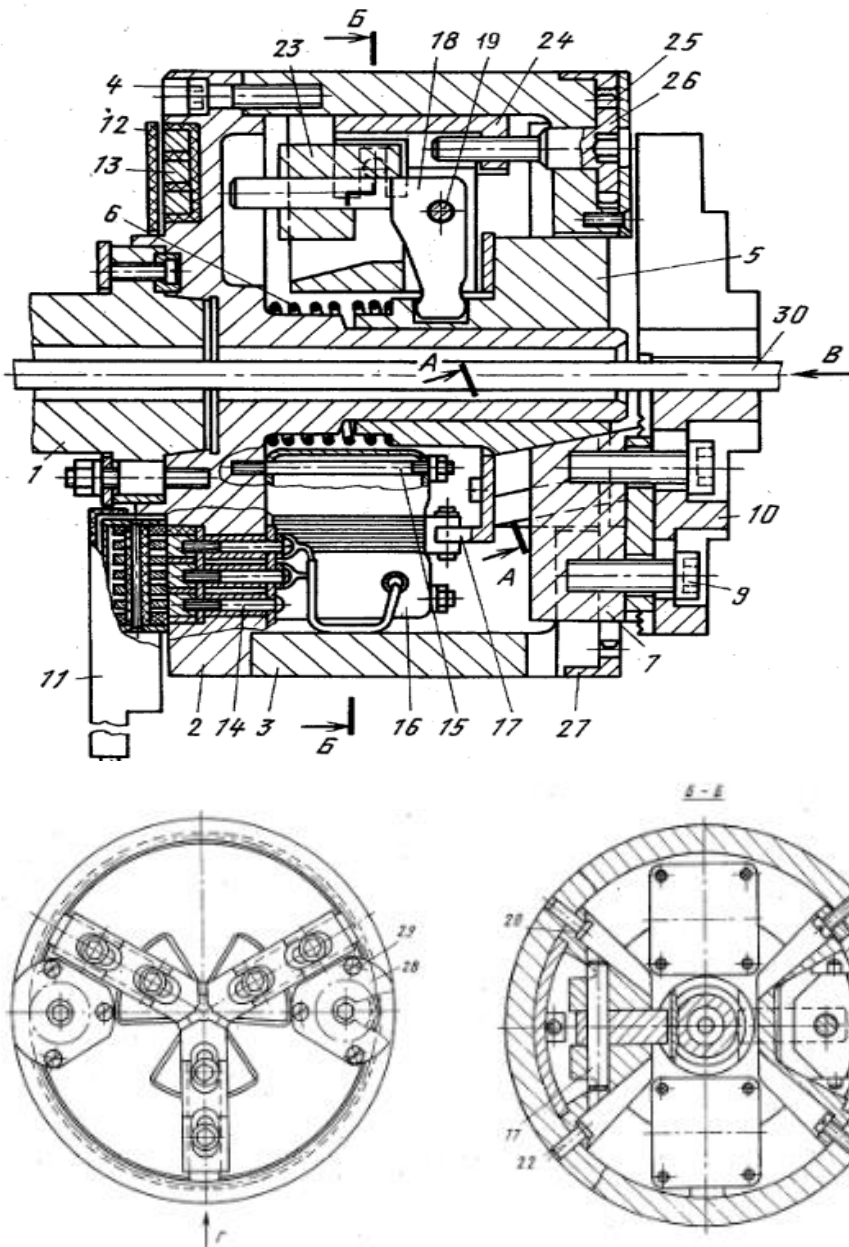


Рис.2.5 ЗМ з встановленими електромагнітами
(а.с. СРСР №1093414)

2.3 Комбіновані ЗМ з використанням у шпиндельних вузлах

На рис.2.6 зображений шпиндельний вузол верстата, який містить привод головного руху, гвинтову передачу і затискний патрон. Гайка гвинтової передачі з одного боку жорстко зв'язана з ротором електромеханічної системи, розміщеним співвісно з шпинделем з можливістю обертання і поздовжнього переміщення за рахунок поля різного напрямку, а з другого боку через тіло кочення з вихідними плунжерами малого діаметра, розташованими співвісно в нерухомій конусній

розподільчій втулці і створюючими в замкненій гідравлічній системі тиск рідини, який діє на вихідні плунжери більшого діаметра, що передають зусилля на під пружинену рухому втулку цангового затискного патрона.

Завдяки жорсткому зв'язку гайки гвинтової передачі з ротором і додаткового електромагнітного поля між цим ротором і статором виникає крутний момент регульованої величини, що обертає гайку і переміщує її в повздовжньому напрямку, завдяки чому досягається автоматичне регулювання сили затиску-розтиску інструмента або заготовки і забезпечення необхідного зусилля затиску, пропорційного тиску в замкненій гідравлічній системі між вхідними плунжерами малого діаметра і вихідними плунжерами більшого діаметра.

Можливість механізованого затиску-розтиску з автоматичним керуванням від системи ЧПК дозволяє досягнути технічний результат - розширення функціональних можливостей верстата.

Шпиндельний вузол містить привод головного руху, що складається з шпинделя 1 (фіг. 1) на опорах 2 і 3 у вигляді радіально-упорних шарикопідшипників. На шпинделі розташований ротор 4 головного руху, а в корпусі 5 статор 6, між якими при подачі електричного струму виникає електромагнітне поле. Поза задньою опорою 2 шпинделя 1 на різьбі розташована гайка 7 гвинтової передачі, яка з одного боку зв'язана з ротором 8 електромеханічної системи, а з другого боку через тіло кочення (наприклад два упорних шарикопідшипники 9) з вхідним плунжером 10 (фіг. 1, 2) малого діаметра d , розташованими співвісно в порожнині шпинделя 1.

Два шарикопідшипника 9 притягнуті до гайки 7 упорною гайкою 11 через виступ 12 (рис.2.6,а). З ротором 8 через електромагнітне поле різного напрямку взаємодіє статор 13, жорстко розташований за задньою опорою 2 в корпусі 5. В передній частині шпинделя 1 розташований цанговий затискний патрон для закріплення (ріжучого інструмента наприклад кінцевої фрези, або заготовки), який складається з затискної цанги 14 натискного типу, яка по конусу "а" взаємодіє з нерухомою конусною втулкою 15, що жорстко зв'язана

з шпинделем 1 за допомогою різьби. Затискна гайка 4 по торцю взаємодіє з плунжером 16 більшого діаметра (рис.2.6,б). Між плунжерами 10 і 16 знаходиться замкнена 5 гідравлічна система, що заповнена рідиною (мастилом) або плинним середовищем (гідропластом) в осьовому отворі шпинделя 1.

Об'єктом затиску 17 може бути ріжучий інструмент з циліндричним хвостовиком (свердло, фреза зенкер, тощо) або циліндрична заготовка. В отворі плунжера 16 розташована пружина 18 для його переміщення вправо.

Для створення замкнутого простору в гідравлічній системі і запобігання витікання рідини або плинного середовища в циліндричних проточках плунжерів 10 і 16 встановлені ущільнення відповідно 19 і 20.

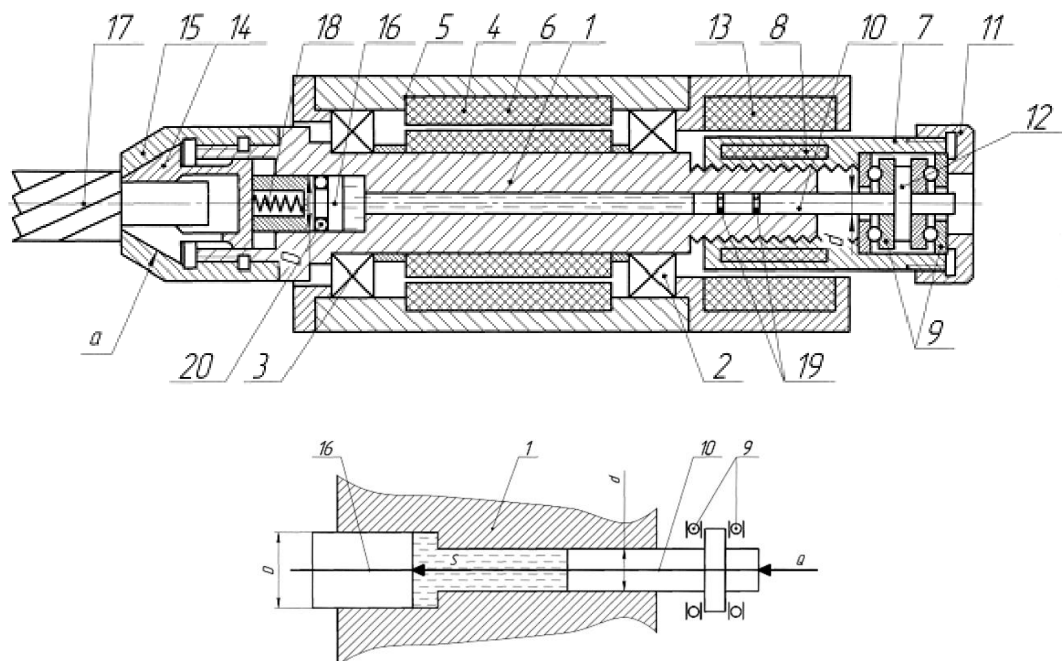


Рис.2.6. шпиндельний вузол з електрогідромеханічним затиском (патент України №80481)

На рис.2.7 представлений шпиндельний вузол верстата, який містить привод головного руху, електромагніти і затискний патрон, наприклад цанговий, згідно з корисною моделлю, один електромагніт вбудований в нерухому конічну втулку і жорстко зв'язаний з шпинделем, а другий - в рухому конічну втулку, що взаємодіє з нерухомою затискною цангою, жорстко зв'язаною з шпинделем, а між обома конічними втулками

розташовані кульки, які додатково взаємодіють з внутрішньою конічною поверхнею втулки, при зближенні або роз'єднанні конічних втулок з вбудованими електромагнітами за рахунок виникнення різної полярності в електронних роз'ємах і електромагнітах.

Завдяки жорсткому зв'язку електромагнітів з елементами конструкції шпиндельного вузла та електромагнітного поля між ними, конусна втулка переміщується в повздовжньому напрямку, завдяки чому досягається автоматичне регулювання сили затиску-розтиску і забезпечення необхідного зусилля затиску, що залежить від величини сили струму поданої на електромагніти. Можливість механізованого затиску-розтиску з автоматичним керуванням від системи ЧПК дозволяє досягнути технічний результат - розширення функціональних можливостей верстата.

Шпиндельний вузол містить привод головного руху, що складається з шпинделя 1 на опорах 2 і 3 у вигляді радіально-упорних шарикопідшипників, що встановлюються в корпусі 4. На шпинделі розташовані котушки ротора 5 і 6, а в корпусі 7 котушки статора 8 і 9, між якими при подачі електричного струму виникає електромагнітне поле. Перед передньою опорою 2 шпинделя 1 розташовані два електромагніти 10 та 11.

Електромагніт 10 вмонтований в конусну втулку 12 і зв'язаний з котушкою ротора 6 електричним ланцюгом у вигляді проводів, протягнутих в отворі "а", а електромагніт 11 вмонтований в конічну втулку 13, яка підпружинена пружиною 14 і взаємодіє по конусу "b" з затискною цангою 15. Цанга 15 за допомогою різьби "с" жорстко зв'язана з шпинделем 1.

Електромагніт 11 зв'язаний з котушкою ротора 5 електронним ланцюгом у вигляді проводів, протягнутих через отвори "а", "d", "е" відповідно в шпинделі 1 і конічній втулці 13. В проміжку між втулкою 12 з кутом α , шпинделем 1 з кутом β розміщені кульки 16. До переднього торця шпинделя 1 прикріплений гвинтами фланець 17, який слугує одночасно захистом від попадання всередину стружки і упором для пружини 14. 5

Цанговий затискний патрон з нерухомою в осьовому напрямку цангою 15 призначений для закріплення ріжучого інструмента, наприклад кінцевої фрези, або заготовки, наприклад прутка.

Подача струму на котушки статорів 8 і 9 здійснюється через роз'єми 18 і 19 відповідно, а на електромагніти 10 і 11 - через роз'єми 20 і 21 відповідно.

Шпиндельний вузол працює наступним чином.

Внаслідок появи електромагнітного поля на котушках 5, 6 та 8, 9 статора і ротора відповідно, шпиндель 1 починає обертатися і виникає напруга, яка через електричні ланцюги подається на електромагніти 10 і 11, що внаслідок магнітної взаємодії спричинює їх зближення з жорстко прикріпленими до них конусними втулками 12 та 13. Це відповідно спричинює рух кульок 16 від осі обертання, внаслідок взаємодії кульок 16 з фасонною поверхнею шпинделя 1 кульки разом з конусною втулкою 13 переміщуються в ліво. При цьому конусна втулка 13 взаємодіє з пелюстками цанги по конусу "6" і відбувається затиск.

Затиск і розтиск відбувається шляхом подачі електричного струму відповідної полярності на електричні роз'єми 18 та 19. При зміні полярності і під дією пружини 14, що впирається у фланець 17, конусна втулка 13 повертається у вихідне положення і відбувається розтиск.

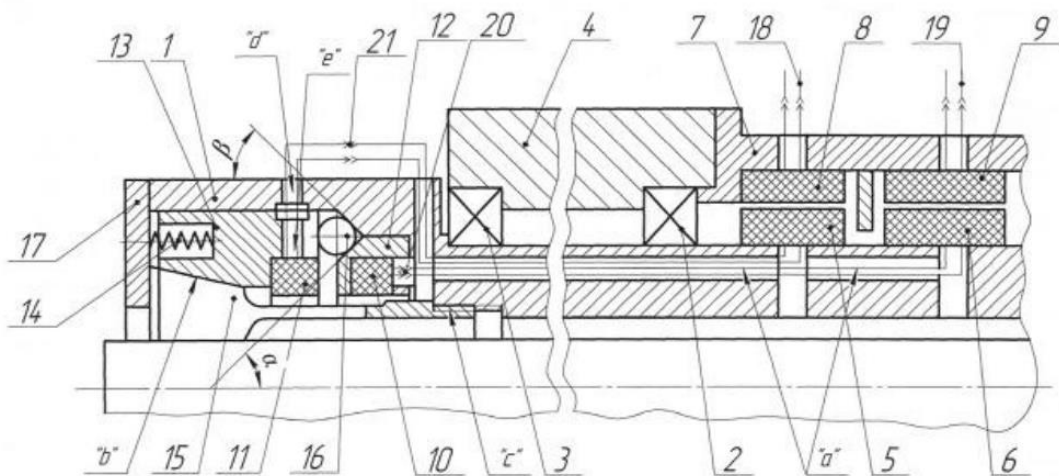


Рис.2.7. Шпиндельний вузол з електрогідромеханічним ЗМ та кульковим передавально-підсилювальним механізмом (патент України №84924)

Відомий шпindelний вузол (рис.2.8), в якому на шпindelі 1 розташований ротор 5 головного руху, а в корпусі 4 статор 6, між якими, при подачі електричного струму на обмотки статора 6, виникає електромагнітна взаємодія у вигляді 10 крутного моменту. Передній кінець корпусу 4 закритий фланцем 7. Поза задньою опорою 2 шпindelя 1 розташовано модуль-фланець 8 з електромеханічною муфтою, в якому розміщена гайка-вал 9 пів-муфти 10 на опорі 11 у вигляді радіально-упорного підшипника. Інша пів-муфта 12 розташована на опорі 13, що також встановлена в модуль-фланець 8 і має можливість силової взаємодії з валом 14 привода затиску з'єднувальну ланку 15. При цьому, вал 14 з розташованим 15 на ньому ротором 16 розміщений на опорах 17 в додатковому корпусі 18, що виконаний у формі модуля з торцевим фланцевим кріпленням і кріпиться до модуль-фланця 8. Інший торець додаткового корпусу 18 закритий кришкою 19 з розташованими на ній роз'ємами для підведення електричної енергії та сигналів керування. Статор 20, що разом з ротором 16 є додатковою електромеханічною системою, жорстко закріплений у додатковому корпусі 18, що жорстко 20 з'єднаний з корпусом 4. Гайка-вал 9 по різьбі зв'язана з гвинтом 21, що базується в осьовому отворі шпindelя 1 та з'єднаний з цангою 22, що утримується від провертання відносношпindelя 1 штопорним гвинтом 23.

Шпindelний вузол працює наступним чином. При нерухомому шпindelі 1 і розтиснутій цанзі 22 в її отвір вводиться об'єкт затиску (на кресленні не показано). При подачі струму на 25 обмотку статора 20 виникає електромагнітне поле, яке взаємодіє з обмотками ротора 16 і призводить до появи крутного моменту, що передається через вал 14, з'єднувальну ланку 15 і кінематично замкнуті півмуфти 12 та 10 до гайки-вала 9. Обертання гайки-вала 9 призводить до переміщення гвинта 21 вліво і затягування цанги 22, що забезпечує затиск об'єкта фіксації.

Після завершення процесу затиску ланцюг кінематичного зв'язку вала 14 привода затиску з гайкою-валом 9 роз'єднується шляхом роз'єднання півмуфт 12 та 10.

Внаслідок подачі струму на обмотки статора 6 виникає електромагнітне поле, що взаємодіє з обмотками ротора 5 і змушує шпindel 1 обертатися з необхідною частотою. При цьому підтримка зусилля затиску відбувається за рахунок самогальмування в різьбовому з'єднанні гвинта 21 та вала-гайки 9. Керування шпindelним вузлом з механізмом затиску здійснюється від системи числового програмного керування, а узгодження обертання шпинделя 1 і електромеханічної системи затиску відбувається за допомогою датчиків, встановлених на шпинделі 1 і гайці-валу 9.

Зупинка шпинделя 1 здійснюється внаслідок припинення подачі струму до обмоток статора 6, а розтиск об'єкта затиску (не зображено) - при замиканні кінематичного зв'язку між півмуфтами 12 та 10 і зміні полюсів на обмотці статора 20, що змушує ротор 16 і гайку-вал 9 обертатися в зворотному напрямку та переміщає гвинт 21 і цангу 22 вправо. Таким чином відбувається розтиск. Саморозтиск затискної цанги 22 здійснюється за рахунок пружності її пелюсток.

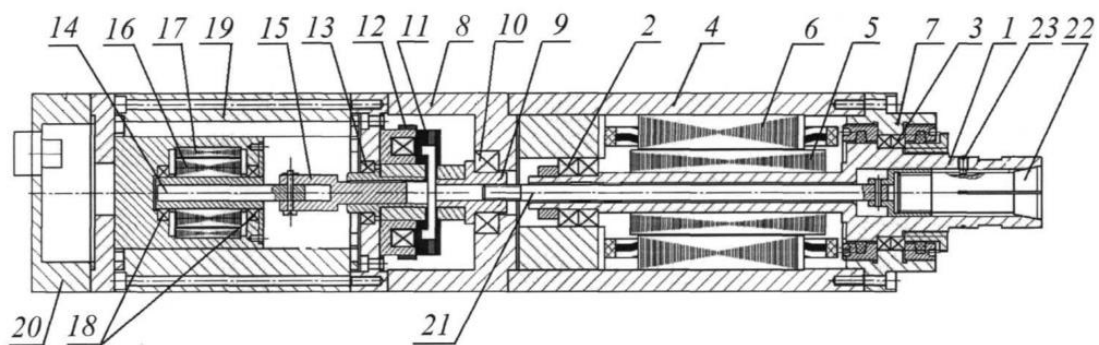


Рис.2.8. Шпindelний вузол з електромеханічним затиском та можливістю розриву кінематичного зв'язку (патент України №112324)

2.4 Високошвидкісні і високоточні ЗМ

На рис.2.9 представлений затискний патрон складається з корпусу 1, на який встановлено поворотну обойму 2 на двох голчастих підшипниках кочення 3. В корпусі 1 виконані радіальні отвори, в яких розташовані циліндричні плунжери 4, які стискають плинне середовище 5, наприклад гідрофласт.

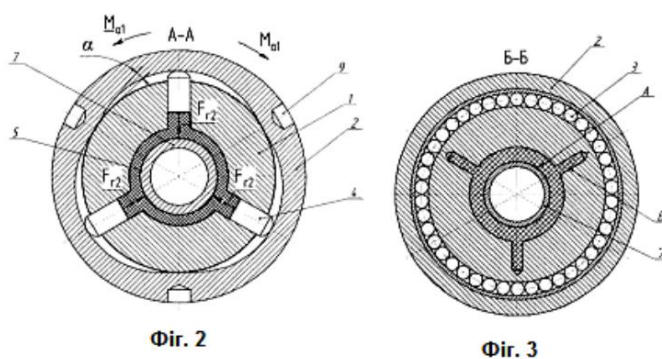
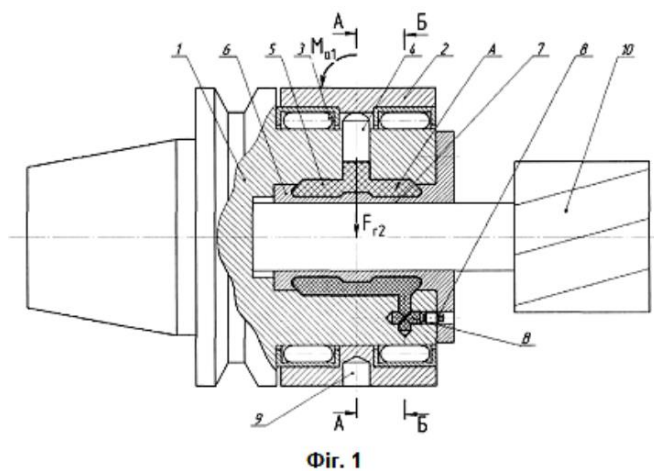


Рис.2.9. Затискний механізм з поворотною обоймою та підшипниками кочення
(патент України №114536)

Всередині корпусу 1 запресована циліндрична втулка 6, на зовнішній поверхні якої виточені канавки, що утворюють тонкостінну циліндричну оболонку 7. У робочу порожнину А заливається плинне середовище 5 через канали В, які після заповнення робочої порожнини А, закриваються гвинтами 8. Внутрішня поверхня поворотної обойми 2 між голчастими підшипниками 3 виконана у вигляді трикутноподібного профілю з дугоподібними сторонами, дотичні до них і до вписаного в трикутник кола утворюють кут

підйому α (фіг. 2), що не перевищує кут самогальмування і знаходиться в межах $1-3^\circ$.

Затискний патрон працює наступним чином. При повороті обойми 2 за допомогою радіальних отворів 9 і стрижня (не показаний) в ту чи іншу сторону створюється крутний момент M_{a1} (за годинниковою стрілкою) або M_{a1} (проти годинникової стрілки) і за рахунок кута підйому α плунжери 4 занурюються в напрямку осі патрона, створюючи тиск, який викликає радіальну 5 силу затиску F_{r2} , що стискає гідропласт 5. В результаті відбувається радіально-пружна деформація оболонки 7 тонкостінної втулки 6, яка стискає циліндричний хвостовик різального інструмента 10 або циліндричну заготовку. Розтиск здійснюється при зворотному повороті обойми 2 у вихідне положення.

Рис.2.10 представлений гідромеханічний затискний патрон містить нерухомий затискний елемент у вигляді тонкостінної втулки 1 (Фіг. 1) з циліндричним отвором під інструмент (або заготовку) 2 з торцями "а" і "b" по обидві сторони і зовнішньою конічною поверхнею "с" з кутом між ними. По зовнішній конічній поверхні "с" затискний елемент 1 взаємодіє з рухомою в повздовжньому напрямку втулкою 3 з каналами для підводу рідини 4 - для затиску і 5 - для розтиску. Між торцями "а", "b" затискного елемента 1 і торцями рухомої втулки 3 по обидві сторони розташовані дві барокамери 6, 7, з яких барокамера 6 призначена для затиску, а барокамера 7 - для розтиску.

Барокамери 6, 7 містять відповідно входи/виходи 8, 9, що розміщені на протилежних сторонах периферії рухомої втулки 3 патрона. Отвори входу/виходу 8, 9 призначені для стикування із соплами, які зв'язані з гідравлічною системою створення тиску рідини (на фіг. 1 не показано).

В хвостовику інструмента 2 виконаний отвір "d", що утворює на свою довжину циліндричну оболонку "е", радіальна жорсткість якої менша радіальної жорсткості втулки 3 з каналами 8, 9 для підводу рідини. В середині нерухомого затискного елемента 1, який має конічний хвостовик 10 для

з'єднання із конусом шпинделя (на фіг. 1 не показано) розташована циліндрична цанга 1. Із виступом f , губки 12 якої розміщені в отворі "d" циліндричного хвостовика інструмента 2.

Торцева втулка 13 з ущільненням 14 жорстко зв'язана з затискним елементом 1, з протилежного боку якого встановлено ущільнення 15. Ущільнення 14, 15 не дозволяють витікання рідини з барокамер 6, 7 при роботі патрона під тиском рідини.

Гідромеханічний затискний патрон працює наступним чином. При розтиснутому патроні рідина під тиском через сопло подається в отвір входу 9 і по каналу 5 в барокамеру розтиску 7. При цьому патрон не обертається. Для затиску інструмента (або заготовки) 2 рідина під тиском подається через сопло в отвір 8, а далі по каналу 4 в барокамеру затиску 6. В той же час рідина з барокамери розтиску 7 по каналу 5 витікає через отвір 9 і сопло.

Під дією сил від тиску рідини в барокамері затиску 6 рухома втулка 3 переміщається вправо по конічній поверхні затискного елемента 1, який деформується в радіальному напрямку і затискує інструмент (або заготовку) 2 з радіальною силою.

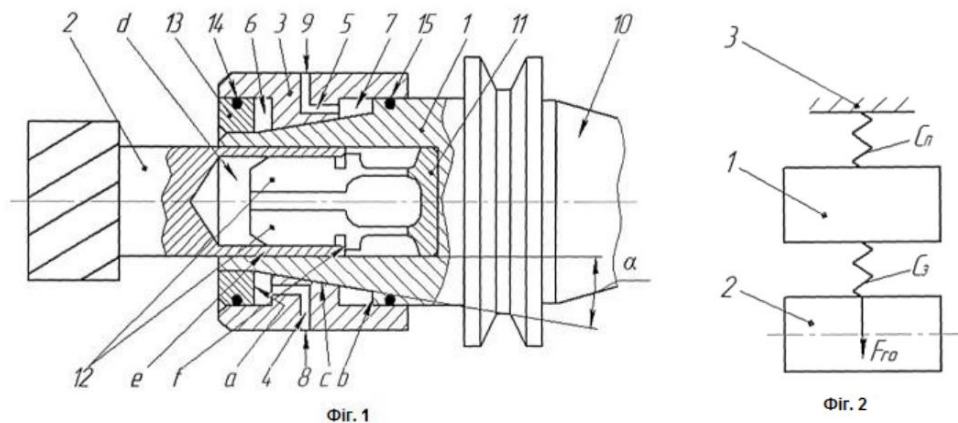


Рис.2.10. ЗМ з розширеним діапазоном обертання для інструментів великих діаметрів (патент України №90481)

На рис.2.11 представлений затискний елемент із зовнішньою конічною та внутрішньою циліндричною поверхнями наскрізного гвинтового пазу заданого фоку забезпечує високе центрування при відсутності пелюсток, які

можуть мати різну жорсткість і різні сили тертя та зчеплення відповідно з конічною поверхнею корпусу і циліндричною поверхнею інструмента, а також надійне закріплення інструменту в статиці. Крім того, розташування попереду торця пружного затискного елемента шайби з упорним конусом, вершина якого спрямована в сторону затискного елемента і взаємодіє по конічній поверхні з кульками, які розміщені в проміжку між шайбою і внутрішнім торцем упорної гайки і на які діють відцентрові сили. При дії відцентрових сил кульки розходяться і за рахунок конічної поверхні шайби переміщують її, додатково затискає пружний затискний елемент, втягуючи його в середину корпусу. Це компенсує дію відцентрових сил на пружний затискний елемент і виключає зменшення сили затиску інструмента в процесі роботи при обертанні патрона на високих частотах. Можливо різне виконання пружного затискного елемента – у вигляді втулки і пружини. Таким чином досягається основний технічний результат - підвищення точності базування і затиску в радіальному напрямку та стабілізація сили затиску при високих частотах обертання.

Затискний патрон містить корпус 1, в якому розташований пружний затискний елемент 2 із зовнішньою конічною поверхнею і внутрішньою циліндричною, виконаний у вигляді цанги з гвинтовим пазом величиною від половини до одного кроку на довжині всієї цанги або у вигляді пружини з кількістю витків щонайменше два, упорну гайку 3 з можливістю нагвинчування на зовнішню різьбу кінця корпусу 2 і взаємодії по торцю із затискним елементом 2, шайбу 4, що розташована попереду торця затискного елемента 2 з упорним конусом з кутом α , вершина якого спрямована в сторону затискного елемента 2 і взаємодіє по конічній поверхні з кульками 5, які розміщені в проміжку між шайбою 4 і внутрішнім торцем упорної гайки 3, упор 6, що розміщений в середині корпусу 1 і призначений для базування інструменту 7 з циліндричним хвостовиком відповідного діаметру, наприклад, фрези.

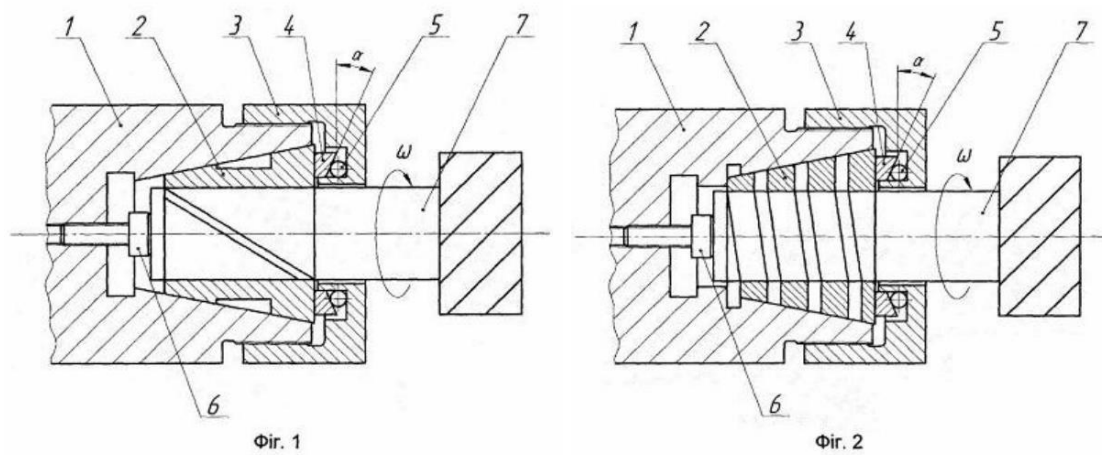


Рис.2.11. ЗМ з пружнім елементом у вигляді пружини (патент України № 26781)

Розділ 3. Синтез високошвидкісних і високоточних ЗМ

3.1 Формулювання задачі синтезу

При пошуках нових технічних рішень і створення МС нових поколінь (машин, їх механізмів і вузлів) необхідно враховувати об'єктивні закони розвитку систем нового походження, які запозичені з біології. Життя будь-якого класу ТС представляють у вигляді еволюційної S - подібною кривою [1-4]. Ця крива показує, як змінюються в часі головні показники ТС, наприклад, потужність, робоче тиск, маса, габарити, швидкість, точність, продуктивність і т.п. Щодо поліпшення цих показників поряд з розвитком однієї ТС в відповідно до запитів суспільства зароджуються нові ТЗ того ж призначення, реалізують нові ідей і принципи дії (технологічні, фізичні, геометричні та ін.).

З розвитком техніки і підвищенням технологічного рівня машин, до яких відносяться і металорізальні верстати, змінюються виконувані ними функції і вдосконалюють принципи їх конструювання.

Конструювання або інженерне проектування є безперервним творчим процесом і повністю його формалізувати не можна, особливо на початкових етапах пошуку нових ідей і технічних рішень, коли необхідно вирішувати протиріччя між зростаючими потребами суспільства і можливостями існуючих ТС. Інженерне проектування включає в себе з одного боку одночасно і науку, і мистецтво, а з іншого боку - аналіз і синтез [5].

Аналіз - розчленування ситуації, що розглядається на функціональні елементи і вивчення кожного елементу окремо, виконується при проектуванні для перевірки спочатку поставлених цілей.

Синтез - об'єднання елементів в єдине ціле, більше відноситься до проектування, ніж будь-який інший процес, але він повинен бути творчим, щоб комбінація об'єднуються елементів була оригінальною на рівні винаходів [6, 7]. В процесі проектування наука і мистецтво, аналіз і синтез невіддільні одна від одної, проявляються одночасно і є основою ідеологи

конструювання верстата, його механізмів і вузлів справжньою дисертаційній роботі.

При конструюванні верстата і його механізмів, вузлів і оригінальних (відповідальних) деталей застосовується два принципи (підходу) [3, 8-12]:

1) еволюційна зміна, коли ТС вдосконалюється або модернізується протягом певного часу шляхом внесення лише незначних поліпшень переважно при збереженні закладеної технології або принципу дії (винаходи нижніх рівнів);

2) створення нового, що характерно для теперішнього часу з урахуванням бурхливого зростання наукових і технічних відкриттів, нових концепцій і методологічних підходів, запозиченого минулого і сьогодення, але в основному зорієнтованого на майбутнє (винаходи вищих рівнів).

Однак слід взяти до уваги той факт, що як наука невіддільна від мистецтва, так і аналіз пов'язаний з синтезом, еволюційні зміни і створення нового відбуваються одночасно.

Таким чином, при інженерному проектуванні необхідно враховувати діалектику розвитку ТС, яка полягає в тому, що в новому об'єкті поєднують нові і відомі технічні рішення, тобто враховують еволюцію на основі перенесення генетичної інформації від одного покоління до іншого і необхідність забезпечення виконання ряду умов, пов'язаних з такими факторами, як витрати, час, критерії відбору, технічна здійсненність, робочі характеристики, виробництво, технічна естетика, екологія і т.д.

Процес інженерного проектування ТЗ передбачає послідовність дій, в рамках яких можливе логічне і поетапний розвиток конструкції. Етапи можуть повторюватися або чергуватися, так як в процес проектування доводиться приймати ряд рішень, поки, нарешті, не буде досягнутий такий результат, при якому виникає раціональне рішення і можливий перехід на наступний етап.

Створення нової ТС включає чотири основні етапи [3, 13]:

1 - науковий (інженерне прогнозування);

- 2 - конструкторський (інженерне проектування);
- 3 - технологічний (підготовка виробництва);
- 4 - організаційний (освоєння виробництва).

В даній дисертації основна увага приділена розкриттю іншого конструкторського етапу і частково першого наукового з позицій системного підходу, згідно якого будемо розглядати систему ЗМ, яка є прибутковим підсистемою верстата (рис.3.1). У робочій машині, функції системи реалізуються через потоки [3, 14]: матеріальні (S), енергетичні (E n) і інформаційні (I).

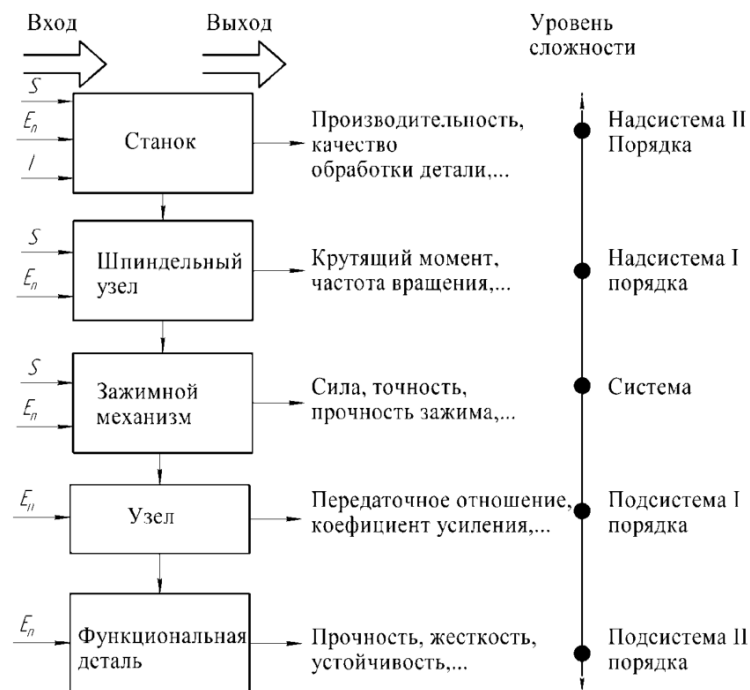


Рис.3.1. Ієрархія ТЗ на прикладі металорізального верстата і його елементів

Ці три типи потоків (або впливів) при будь-якому процесі перетворення здійснюються людьми (ΣMe), технічними системами (ΣTS) і оточенням (Umg). Позначення запозичені з роботи Хубкі В. [14].

Матеріальні (S), енергетичні (E n) і інформаційні (I) потоки, відображають перетворення вхідного стану в вихідний, можна уявити певною сукупністю елементарних функцій, в свою чергу реалізуються фізичними операціями, тобто матеріальні, енергетичні та інформаційні потоки є функціональною структурою ТС. Невикористану частину потоків

повертається в зовнішнє середу. При цьому ТЗ реалізує певний набір (вектор) функцій, задовольняють вектору потреб, заради виконання яких власне і створюється ТС.

При проектуванні ЗМ як ТС різного рівня складності, можливо вирішення наступних інженерних задач (табл.3.1) [14]: 1 - пошук нового принципу дії; 2 - створення нового ЗМ; 3 - нове застосування ЗМ; 4 - модернізація ЗМ; 5 - вдосконалення ЗМ і принципу дії.

У табл.3.1 прийняті наступні позначення: OD 1 - початкова стану операнда на вході; od_2 - необхідна кінцевий стан операнда на виході; N_{in} - побічні входи (наприклад, відцентрові сили неврівноважених частин); N_{out} - побічні виходи (наприклад, втрата сили затиску); TS - технічна система; AP - робочий процес (наприклад, спосіб затиску); ΣOt - оператори (робочий, впливу у вигляді сил і моментів різання, технічні кошти, оточення - зовнішні впливи на TS (ЗМ); ΔTS - відхилення параметрів TS (ЗМ); ΔAP - відхилення параметрів робочого процесу (Наприклад, способу затиску); ΔN_{in} - відхилення побічних входів; ΔN_{out} - відхилення побічних виходів.

Метод морфологічного дослідження реалізується двома якісно різними етапами.

Перший етап (морфологічний аналіз - МА) полягає в отриманні описів всіх систем, що належать до досліджуваного класу, тобто є класифікацією безлічі систем.

На другому етапі (морфологічного синтезу, МС) проводиться оцінювання описів різних систем досліджуваного класу і вибір тих, які в тому чи іншому наближенні відповідають умовам завдання. Внаслідок морфологічного синтезу виходить незбиране опис всієї досліджуваної системи на рівні опису окремих підсистем і відносин між ними.

Отже, цілями МА і МС систем є:

- системне дослідження всіх можливих варіантів вирішення задачі,

виникає з закономірностей побудови (морфології) усовершенствованого об'єкта, а це дозволяє врахувати варіанти, які при простому переборі могли бути упущення дослідником при розгляді;

Таблиця 3.1

Типи інженерних задач

№ задачи	Ситуация	Данное	Найти	Деятельность
1	Для удовлетворения требований нужен новый продукт			Процесс проектирования при заданном выходе
2	Для заданного способа зажима и всех операторов существующей ТС (ЗМ)			Создание (выбор) новой ТС (ЗМ)
3	Для разработанной ТС (ЗМ) ищется возможность применения			Новое применение существующей ТС (ЗМ)
4	Побочный выход существующей ТС вредный			Разработка (модернизация) ТС (ЗМ), ликвидация побочного выхода
5	Необходимо повысить эффективность ТС (ЗМ) и способа зажима			Совершенствование ЗМ и принципа действия

- реалізація сукупності операцією пошуку на морфологічному безлічі варіантів опису функціональних систем, які відповідають первинним вимогам, тобто умовами завдання.

Варіант системи є вибір альтернатив з кожного стовпчика морфологічної таблиці або матриці і в загальному вигляді записується так:

$$B_i = \{P_1^{j_1}, \dots, P_n^{j_n}\}, j_1 \in \overline{1, kg}, \quad (3.1)$$

Цілісні варіанти досліджуваних згенерованих систем відрізняються один від іншого для морфологічного безлічі, на якому вони визначаються, хоча б одним значенням P_i^j . Пошук в морфологічному безлічі варіантів систем при вирішенні задачі синтезу здійснюється за різних функцій мети і алгоритмам.

Складний процес оптимального проектування ЗМ як складної ТЗ можна представити у вигляді ітераційного процесу послідовного вирішення

різноманітних (багаторівневих, багатоциклічних, багатокритеріальних, багатоекстремального) завдань синтезу, аналізу і випробувань (рис. 3.2) [15]. При цьому на кожному рівні, починаючи від ідей і закінчуючи конструкцією, безліч варіантів рішення може бути подано у вигляді морфологічних моделей з послідовною їх конкретизацією [16, 17].

Згідно [15] на кожному рівні рішення являє собою багатокритеріальну задачу, причому складність рішення полягає в тому, що відсутня стратегія вирішення, одночасно найкраща (раціональна, а при параметричній синтезі оптимальна) по кожному з критеріїв. Відповідно до теорії дослідження операцій [18, 19] рішення повинно містити методи приведення приватних критеріїв (показників) до однорідного увазі, визначення їх відносної важливості (вагових коефіцієнтів) і формування узагальненого критерію.

Задачі I і II рівнів важко формалізуються, тому для їх вирішення потрібні, наприклад, застосування неформальних процедур, а прийняття рішень здійснюється в умовах неповної і нечіткої вихідної інформації з укрупненням критеріїв відбору K_1 і K_2 (оцінка) [20-22], що можливо в діалоговому режимі роботи з ЕОМ, наділених штучним інтелектом і імітаційної САПР [6, 7].

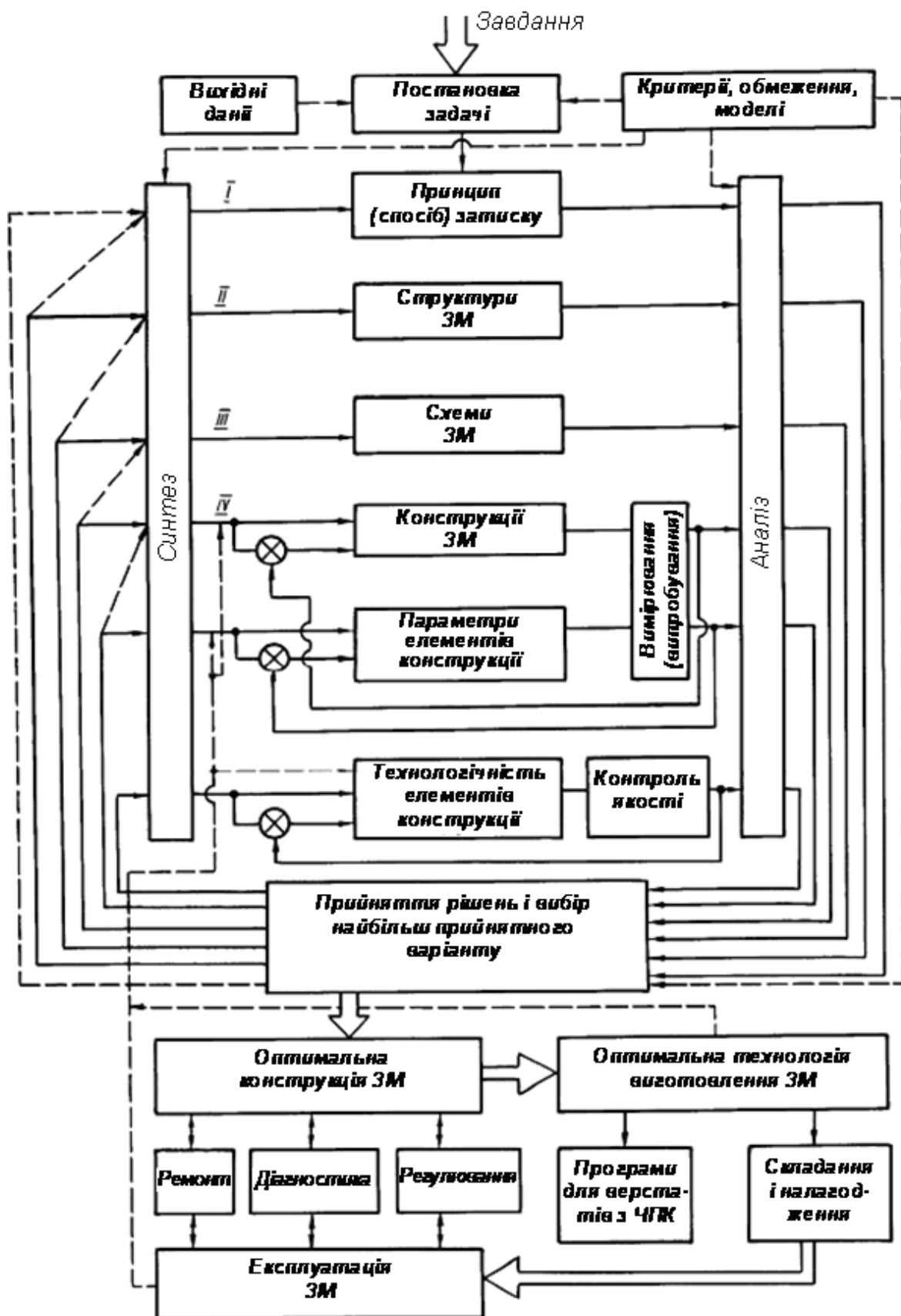


Рис.3.2. Алгоритм оптимального проектування ЗМ з застосуванням багаторівневого системно-морфологічного підходу

Завдання III рівня використовують методи схемної оптимізації по узагальненому критерію КЗ.

Завдання IV - V рівнів зводяться до параметричної оптимізації по узагальненим (комплексним) критеріям До 4 - До 5.

Завдання багаторівневого морфологічного синтезу та аналізу можуть послідовно вирішуватися з відбором найкращих рішень за якісними і кількісними показниками за узагальненим (комплексному) критерієм виду:

$$K = \sum_{i=1}^n a_i \frac{k_i}{[k_i]} \rightarrow \min(\max), \quad (3.2)$$

де a_i - вагові коефіцієнти, що приймають великі значення відповідно з важливістю критеріїв і визначаються методами ранжирування, побудови матриць парних порівнянь (розстановки пріоритетів) на основі інтуїції фахівців і експертних «контрольних оцінок» по перевагу з складанням системи рівностей і нерівностей для цільової функції з невідомими a_i ; k_i - і-тий приватний показник якості; $[k_i]$ - максимально досягається значення показника; n - кількість функціональних ознак.

При виборі кращого варіанту рішення з безлічі перебираються m механізмів характеризуються n важливими властивостями, складається матриця:

$$K = \begin{bmatrix} K_i^{(1)} & \dots & K_k^{(1)} & \dots & K_n^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_i^{(i)} & \dots & K_k^{(i)} & \dots & K_n^{(i)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_i^{(m)} & \dots & K_k^{(m)} & \dots & K_n^{(m)} \end{bmatrix}, \quad (3.3)$$

де елемент (приватний показник) $K_k^{(1)}$ ($i = 1, 2, \dots, m$; $k = 1, 2, \dots, n$) представляє деяке число, що характеризує якість і - того верстата з точки зору К - ого властивості. При цьому при порівнянні і - того і j - того верстатів з точки зору К - того показника якості (приватного критерію) $K_k^{(1)} = K_k^{(1j)}$.

Таким чином, завжди можна перебиранням варіантів ЗМ ($j = 1, 2, \dots, m$) розташувати в порядку убутання (НЕ зростання) їх перевагу [23].

На III і IV рівнях синтезу ЗМ рішення про можливість використання узагальненого критерію (3.2) з приватним кількісними і якісними показниками (критеріями) зводиться по суті до перевірки умови, при якому зміни будь-якого приватного показника якості всіх синтезованих об'єктів на одну і ту ж величину не змінюють порядок переваг.

У тих випадках, коли краще критерієм відповідають менші натуральні значення показника K_i , при приведенні до однорідного виду використовують прийом:

$$K_i^* = 1 - K_i, \quad (3.4)$$

Якщо показники виражають в бальній системі, то показник якості показується як:

$$K_i = \frac{K_i - K_{imax}}{K_{imax} - K_{imin}}, \quad (3.5)$$

де K_i – число балів i -того частинного показника, K_{imax}, K_{imin} – відповідно максимальне і мінімальне число балів в множині перебираємих варіантів верстатів.

3.2. Формування критеріїв для прийняття рішень при виборі кращих варіантів на різних рівнях морфологічної синтезу затискного механізму

У процесі вирішення складних завдань синтезу ЗМ застосовуються методи системного аналізу, серед яких для багаторівневого морфологічного синтезу, починаючи від вибору ідей (принципу дії) на першому рівні і закінчуючи вибором схеми на третьому рівні, є метод аналізу інформацій (MAI) [79] на основі експериментальних оцінок. цей метод призводить до структури у вигляді мульти дерева, що дозволяє позбутися від складних порівнянь, замінивши їх попарними порівняннями [24], і крім того володіє засобами для перевірки послідовності (несуперечності) тверджень експерта. На основі парних порівнянь визначаються локальні пріоритети, а

використання побудованої ієрархічної структури дозволяє отримати значення глобальних пріоритетів альтернатив і оцінити їх надійність.

На кожному рівні багаторівневого морфологічного синтеза кожна ситуація вибирання кращого рішення ЗМ може бути охарактеризована векторною оцінкою K – множини часткових показників K_i ($i = 1, \dots, n$),

$$K = \{K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n\}$$

По мірі переходу від першого рівня до другого і далі (рис.3.2) виконується концентрація ЗМ і збільшення частинних показників, тобто множина показників K_I першого рівня належать множині показників K_{II} другого рівня в так далі.

$$K_I \subset K_{II} \subset K_{III} \subset K_{IV} \subset K_V$$

Це можна представити у вигляді дерева цілей (рис.3.3) [25], як дерева якісних і кількісних для відбирання кращих рішень на основі вимог, передбачених до ЗМ і його елементів.

ЗМ, як кожна ТС, має декілька критеріїв, визначаючих їх міру сучасності і прогресивності.

Особливо є важливим вибір кращих значень критеріїв для розробки нових ЗМ на рівні кращих світових досягнень.

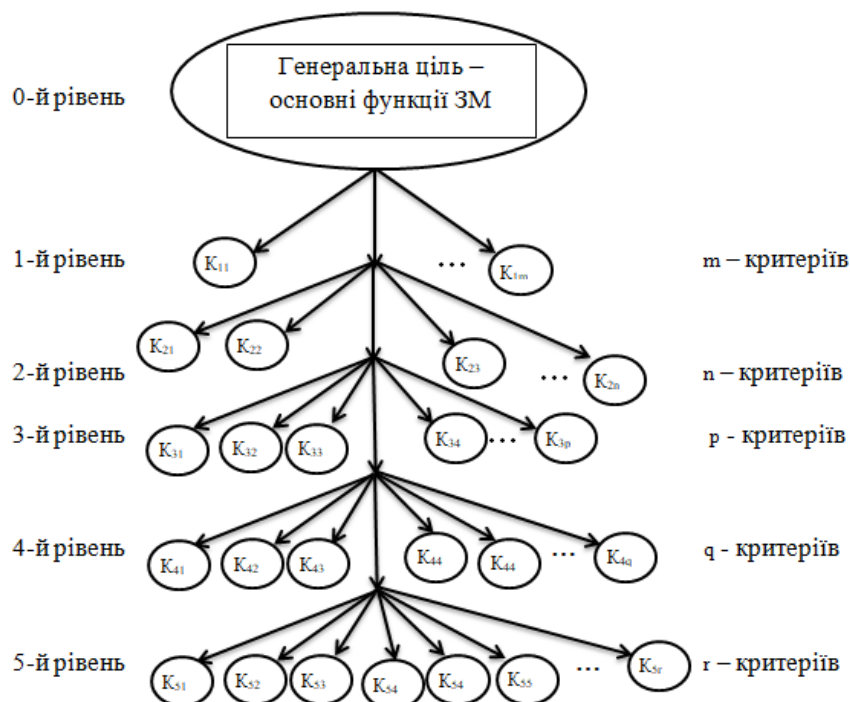


Рис.3.3. Дерево цілей - приватних критеріїв на різних рівнях морфологічного синтезу ЗМ

Як для будь-якої ТЗ, повний набір критеріїв ЗМ включає такі чотири групи [3]: 1) функціональні, що характеризують найважливіші показники реалізації функцій ЗМ; 2) технічні, пов'язані з можливістю і простотою виготовлення ЗМ; 3) економічні, що визначають економічну доцільність реалізації функцій ЗМ; 4) антропологічні, пов'язані з питаннями людського фактора або дією позитивних і негативних факторів на людей, викликаних створенням ЗМ.

Для критеріїв розвитку ЗМ повинні вибиратися тільки такі параметри, які допускають можливість кількісної оцінки. Критерій повинен мати одиницю виміру для порівняння різних варіантів ЗМ. Він може бути представлений і безрозмірними питомими величинами, а при якісному порівнянні в бальною або ваговій оцінці. При виборі критеріїв повинні забезпечитися умови винятковості, сталості, мінімальності і незалежності.

Винятковість передбачає, що за критерій можуть бути прийняті такі параметри ЗМ, які в першу чергу характеризують його ефективність і найбільш істотно впливають на розвиток ЗМ. До нього відноситься забезпечення надійної сили затиску, що виключає порушення положення або руйнування об'єкта закріплення в процесі обробки або в процесі затиску.

Сталість критеріїв передбачає їх збереження протягом життєвого циклу класу ЗМ.

Мінімальність і незалежність визначає, що вся сукупність критеріїв повинна містити лише такі, які не можуть бути виведені з інших критеріїв і не можуть бути їх прямим наслідком.

Опис кожного з критеріїв ЗМ містить такі дані: 1) сутність критеріїв, час і причини його виникнення; 2) формулу або спосіб визначення критерію; 3) діапазон і характер зміни значень критерію у часу; 4) оцінку ступеня загальності критерію за певною шкалою (Приналежність до певного класу, групи класів ЗМ); 5) оцінку перспективності критерію (актуальність, зростання або зниження); 6) основні способи і засоби поліпшення критерію.

Світові тенденції розвитку верстатобудування впливають не тільки на зміна компоновок, конструкцій, систем приводів і управління, а й на зміна їх функціональних елементів, до яких відносяться ЗМ. Це в свою чергу змінює пріоритетність показників і критеріїв відбору кращих рішень. До таких тенденцій належить високошвидкісна (High speed cutting) і високопродуктивна (High production cutting) обробка на високих швидкостях різання [26, 27]. Через підвищення частот обертання істотний негативний вплив починають надавати відцентрові сили невідновжених частин.

Для переміщення робочих органів на швидкостях до 60 - 200 м / хв з прискореннями до 0,5 - 5g при виконанні неодружених і робочих рухів істотно скорочуються кінематичні ланцюги і кількість механічних передач енергії від джерела енергії до виконавчого органу. Замість механічних передач починають широко застосовуватися електромеханічні системи у вигляді мотор-шпинделів для обертальних рухів і електричні лінійні приводи поступальних рухів, а нові верстати оснащуються мехатронними системами [29, 28, 27].

Застосування нанотехнологій і необхідність забезпечити високу точність обробки прецизійних виробів до 0,01 мкм з шорсткістю поверхні до 0,001 мкм (нанометра) при невеликих сил різання на перший план висуває забезпечення високої точності затиску.

Агрегатно-модульний принцип починає застосовуватися в конструкціях шпиндельних вузлів з ЗМ різного призначення, що підвищує універсальність, скорочує терміни і витрати на їх виготовлення, складання і переналагодження в умовах гнучкого автоматизованого виробництва.

Багаторівневої морфологічний синтез, що є багатокритеріальним методом при виборі раціональних варіантів, починається з незалежною оцінкою альтернатив відповідних функціональними ознаками, тобто функціональних підсистем, на які при декомпозиції розкладається система ЗМ.

Це метод базується на двох припущеннях. При першому допущенні альтернативи, які належать окремим функціональним підсистем, можна описувати незалежно від альтернатив, що належить іншим функціональним підсистем. При другому допущенні найкращий цілісний варіант системи ЗМ містить кращі альтернативи, які в деяких випадках не відповідають дійсності, оскільки при такому умови можуть порушуватися умови цілісності.

Кількість елементів первинного морфологічного безлічі попередньо зменшується шляхом відсікання нераціональних варіантів.

Час, що залишився підмножина раціональних варіантів аналізується на предмет їх ефективності та сумісності окремих альтернатив. При пошук раціональних варіантів в морфологічному безлічі знаходиться один або кілька цілісних варіантів систем ЗМ з використанням як адитивної (формула 3.2), але і мультиплікативної функції мети (множення ефектів):

$$K = \prod_{i=1}^n a_i \frac{K_i}{[K_i]}, \quad (3.6)$$

Різноманіття вимог, що пред'являються до ЗМ, може бути виражено через кількісні або якісні показники, які в розмірному або безрозмірному вигляді формують приватні критерії для відбору кращих рішень[15].

У тих випадках, коли завдання синтезу (III рівні, іноді III рівень) важко формалізуються (формалізації) через невизначену або непарну інформації доводиться звертатися до експертизи (експерт, а краще група експертів) і неформальним процедурам [30, 20, 21, 22, 31]. В цьому випадку приведення окремих показників (приватних критеріїв) до однорідного виду можливо при оцінці їх в одній порядкової шкалою за принципом – більш вигідному значенню показника відповідає більше вага (оцінка, бал) [23,32].

Стосовно до ЗМ найзручніше приватні показники, що формують комплексний показник, зі збереженням фізичного їхнього змісту привести до такого однорідного безрозмірного вигляду, при якому кожен з них в ідеальному випадку прагнув би до 1 в інтервалі 0 - 1 [23].

Після приведення окремих показників до однорідного, нормалізовано увазі необхідно виконати аналіз їх відносної важливості [23], тобто провести

уявний експеримент для ранжирування показників і визначення вагових коефіцієнтів з урахуванням їх впливу, наприклад, на техніко-економічні показники верстата [34, 33], наприклад, продуктивність (П), якість (К) обробки при мінімальних витратах (З), що характеризують ефективність обробки [34]

$$\Xi = \frac{\text{П} \uparrow \text{К} \uparrow}{\text{З} \downarrow} \rightarrow \max. \quad (3.7)$$

Розглянемо на прикладі, висловлюючи вплив показників ЗМ на ефективність обробки у вигляді графа зв'язків (рис.3.4). Кожна зв'язок (ребро графа) відповідає вазі 1. З рис. 2.4 видно, що у показника K_C - 6 зв'язків, K_T - 5 зв'язків, $K_{\text{ж}}$ і K_D - по 4 зв'язку, $K_{T\text{х}}$ - 2 зв'язку, K_y - 1 зв'язок та ін. Таким чином, відношення переваги для наведених до однорідного виду показників при виборі кращого рішення ЗМ по комплексному критерію буде (знак > позначає переваги за важливістю; знаки \approx - рівноцінність):

$$K_C > K_T > \{K_{\text{ж}} \approx K_D\} > K_{T\text{х}} > K_y, \quad (3.8)$$

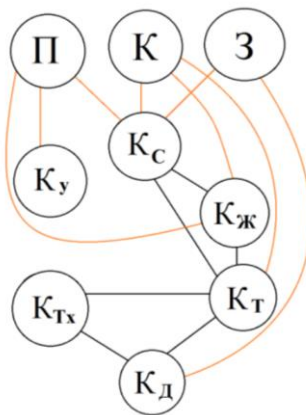


Рис.3.4. Графік зв'язків і взаємовпливу ЗМ на техніко-економічні показники верстата

Таблиця 3.2

Критерії відбору кращих рішень ЗМ на різних рівнях проектування (див. рис. 3.3)

№ п/п	Критерій	Позна- чення	Рівні				
			I	II	III	IV	V
1	Сила затиску	K_C	I	L	L	+	+
2	Стабільність (нерівномірність) сил				L	+	+
3	Жорсткість затиску	$K_{Ж}$		L	L	+	+
4	Стабільність (нерівномірність) жорсткості	$\delta_{Ж}$			L	+	+
5	Точність затиску	K_T		L	L	+	+
6	Стабільність (нерівномірність) затиску	δ_T			L	+	+
7	Міцність елементів	K_{δ}			L	+	+
8	Нерівномірність міцності	δ_{δ}			L	+	+
9	Довговічність	K_D			L	L	L
10	Надійність	K_H			L	L	L
11	Металоємність	K_M			L	+	+
12	Технологічність	K_{Tx}			L	L	L
13	Енергоємність	K_E	I	L	L	+	+
14	Швидкодія	$K_{Бд}$			L	+	+
15	Швидкохідність	$K_{Бх}$			L	+	+
16	Швидко переналаджуваність	$K_{Бп}$			L	+	+
17	Широкодіапазоність	$K_{Ш}$			L	+	+
18	Безпека роботи	$K_{Бр}$			I	L	L
19	Безшумність	$K_{Бш}$			L	L	L
20	Зручність роботи	K_y			I	L	L
21	Багатомісткість	$K_{Мм}$			I	L	L
22	Багатопозиційність	$K_{Мп}$			I	L	L
23	Стикування	$K_{Ст}$	I	I	L	L	L

Примітка: I - неформалізований, L - напівформалізований, L - напівдетерінований, + - детермінований, □ – відсутній.

Згідно [19, 18, 35] при наявності повної несуперечності інформації відносну важливість кожного показника можна оцінити позитивним числом a_{10} - ваговим коефіцієнтом, що володіє властивістю адитивності ($\sum_{i=1}^n a_i = 1$). Виходячи з цього співвідношення (3.8) буде відповідати відношення вагових коефіцієнтів:

$$a_c > a_T > \{a_{\text{ж}} \approx a_d\} > a_{\text{Тх}} > a_y, \quad (3.9)$$

Так як $a_{\text{ж}} = a_d$, тоді в співвідношенні (3.9) їх вага додається в дискретній шкалі відношень при заміні на знак $>$ (більше), тобто

$$a_c > a_T > \{a_{\text{ж}} + a_d\} > a_{\text{Тх}} > a_y, \quad (3.10)$$

Оцінюючи важливість критеріїв вісовими коефіцієнтами в порядковій шкалі відношень з урахуванням дискретної шкали, рівної одиниці, представим їх нормування в балах, починаючи з найменш важливого, і так двільше.

$$1 > 2 > (3 + 3) < 7 < 8$$

Загальна сума балів буде рівна $1+2+6+7+8=24$. Звідси $a_y = \frac{1}{24}$, $a_{\text{Тх}} = \frac{1}{24}$, $a_{\text{ж}} = a_d = \frac{3}{24}$, $a_T = \frac{7}{24}$, $a_c = \frac{8}{24}$.

Згідно з виразом (2.2) комплексний показник якості ЗМ буде:

$$K = \frac{8}{24} K_c + \frac{7}{24} K_T + \frac{3}{24} K_{\text{ж}} + \frac{3}{24} K_d + \frac{2}{24} K_{\text{Тх}} + \frac{1}{24} K_y. \quad (3.11)$$

У разі відсутності інформації для формування приватних критеріїв, а також для визначення вагових коефіцієнтів на основі експертних оцінок зручно користуватися широко поширеним методом парних порівнянь (Розстановки пріоритетів), про що вже згадувалося в цьому параграфі і що буде проілюстровано далі.

На IV і V рівнях, а в деяких випадках на III рівні (рис.3.2), коли вдається кількісно оцінити приватні критерії (показники) для вибору кращого рішення завдання оптимального проектування може вирішуватися одним з трьох методів [47]:

1. З n критеріїв $K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n$ один вибирається в якості цільової

функції $K_i = \phi \rightarrow \min (\max)$, а інші стають обмеженнями $K_1 = R_1, K_2 = R_2, \dots$
 $K_{n-1} = R_{n-1}$.

2. Формування комплексного критерію в розмірному або безрозмірному вигляді за виразами (2.2) і (2.6).

3. Зміна (розширення) масштабу постановки завдання (по глобальному критерію).

При малій кількості ознак і альтернатив (десятки і сотні варіантів) можна організувати повний перебір, однак при великій кількості варіантів рішень, що обчислюються тисячами і навіть мільйонами, навіть при використанні досконалих швидкодіючих ЕОМ – це безперспективно [36].

Основна проблема вибору кращих рішень з морфологічного безлічі, що дає іноді астрономічну кількість варіантів, це скорочення альтернатив і функціональних ознак.

В роботі запропоновано застосовувати комбінований поетапний метод скорочення ознак і альтернатив. На першому етапі утворюють різні альтернативні комбінації з декількох елементів і виключають з них найгірші [198]. До найгірших відносять не реалізуються, найбільш дорогі по витрат, відомі морально застарілі комбінації, а також ті, що незначно усувають недоліки відомого з комбінацій. На другому етапі застосовують метод парних порівнянь [37] з побудовою квадратичних матриць, що містять одну або дві ітерації.

Розглянемо процедуру виконання першого етапу на абстрактному прикладі. Припустимо морфологічний безліч технічних рішень (ТР) представлено у вигляді морфологічної таблиці (МТ) з чотирма ознаками (Табл. 2.3). Згідно залежності (1.9) загальна кількість ТР: $N = 4 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 2 = 120$.

З МТ (табл.2.3) вибираємо ознаки $\Phi 3$ і $\Phi 4$, мають найменше число альтернатив, і створюємо з цих ознак всі можливі парні

Таблиця 3.3

Абстрактна морфологічна таблиця синтезованого об'єкту з п'ятьма ознаками
(функціональними елементами)

Альтернатива	Ознаки (функціональні)			
	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4
1	A_1^1	A_2^1	A_3^1	A_4^1
2	A_1^2	A_2^2		A_4^2
3	A_1^3	A_2^3		
4	A_1^4			

Примітка: Для альтернативи індекс знизу – номер признаку, індекс зверху – номер альтернативи цього ознакикомбінації (табл.3.4) , які в даному абстрактному прикладі допустимі і рівноцінні, тому ні одну з них не відносим до поганих і не виключаєм.

Таблиця 3.4

Комбінація альтернатив із двома ознак Φ_3 і Φ_4

$\Phi_3 \backslash \Phi_4$	A_4^1	A_4^2
	$A_3^1 A_4^1$	$A_3^1 A_4^2$

Вибираємо з початкової МТ (табл.3.3) наступний ознак Φ_2 з найменшим числом альтернатив. За допомогою альтернатив цієї ознаки і двох допустимих комбінацій в табл.3.4 утворюємо всі можливі комбінації з трьох ознак (табл.3.5). Порівняльний аналіз цих комбінацій по заданому критерію який дозволяє три з них виключити (закреслити)

Таблиця 3.5

Скорочення комбінацій з трьох ознак

$\Phi_3 \backslash \Phi_4$	A_2^1	A_2^2	A_2^3
	$A_3^1 A_4^1$	$A_3^2 A_4^1$	$A_3^3 A_4^1$
$A_3^1 A_4^2$	$A_2^1 A_3^1 A_4^2$	$A_2^2 A_3^1 A_4^2$	$A_2^3 A_3^1 A_4^2$

Далі вибираємо з вихідної МТ (табл.3.3) остання ознака Φ_1 з найменшим числом альтернатив і за допомогою залишилися допустимих комбінацій в

табл.2.5 утворюємо всі можливі комбінації з чотирьох ознак (табл.3.6) з відсівом за певним критерієм, наприклад, п'яти небажаних варіантів (перекреслених один раз).

Таблиця 3.6

Скорочена комбінація за чотирма ознаками

Φ_1	A_1^1	A_1^2	A_1^3	A_1^4
$\Phi_2 \Phi_3 \Phi_4$				
$A_2^1 A_3^1 A_4^2$	$A_1^1 A_2^1 A_3^1 A_4^2$	$A_1^2 A_2^1 A_3^1 A_4^2$	$A_1^3 A_2^1 A_3^1 A_4^2$	$A_1^4 A_2^1 A_3^1 A_4^2$
$A_2^2 A_3^1 A_4^2$	$A_1^1 A_2^2 A_3^1 A_4^2$	$A_1^2 A_2^2 A_3^1 A_4^2$	$A_1^3 A_2^2 A_3^1 A_4^2$	$A_1^4 A_2^2 A_3^1 A_4^2$
$A_2^3 A_3^1 A_4^1$	$A_1^1 A_2^3 A_3^1 A_4^1$	$A_1^2 A_2^3 A_3^1 A_4^1$	$A_1^3 A_2^3 A_3^1 A_4^1$	$A_1^4 A_2^3 A_3^1 A_4^1$

Залишилося сім варіантів ТР, які можна записати як поєднання альтернатив чотирьох ознак. Якщо допустимих варіантів досить багато, то проводиться скорочення за додатковими найбільш важливими показниками (Критеріями), наприклад, ККД, витрата металу, вартість комплектуючих і т. п. (В табл. 4 перекреслені двічі). Решта варіанти після скорочення двох поєднань запишемо у вигляді морфологічних формул [124]:

$$X_1 = A_1^1 A_2^1 A_3^1 A_4^2; X_2 = A_1^1 A_2^2 A_3^1 A_4^2; X_3 = A_1^1 A_2^2 A_3^1 A_4^2;$$

$$X_4 = A_1^2 A_2^2 A_3^1 A_4^2; X_5 = A_1^4 A_2^3 A_3^1 A_4^1; X_{12} = A_1^4 A_2^3 A_3^1 A_4^2.$$

Із загальної кількості варіантів $N = 24$ по етапах число винятків склало (табл.2.5, 2.6), $N_1 = 3 + 7 = 10$, що дало варіантів, що залишилися для порівняння $N_2 = 5$, т. е. в 4,8 рази менше. При використанні на останньому етапі методу парних порівнянь [37] за основним або комплексному показником якості [28, 38, 39] вибирають 1 ... 2 найбільш ефективних варіантів ТР для подальшого опрацювання. Таким чином, запропонований метод відсіювання непотрібних варіантів дозволив скоротити час перебору і трудомісткість вибору від 12 до 24 разів.

Такий метод відбору кращих рішень доцільно застосовувати на верхніх рівнях морфологічного синтезу (вибір найкращих ідей або принципів дії і структурних схем).

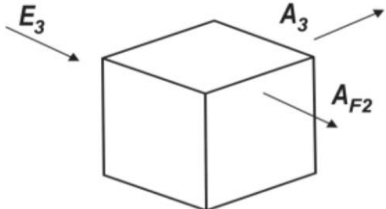
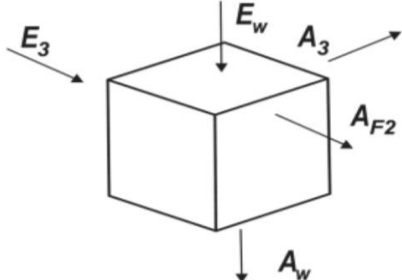
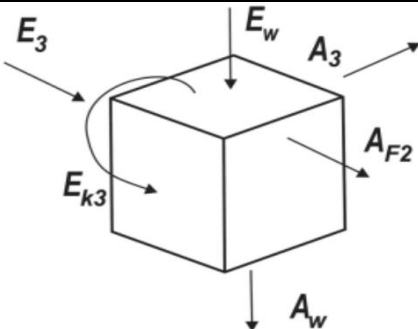
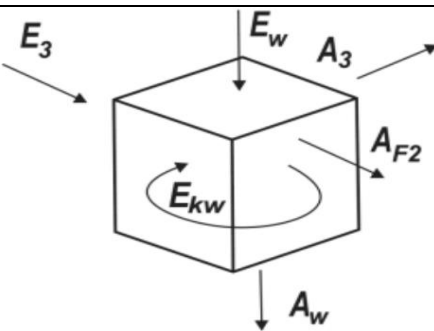
3.3. Пошук нових принципів дії затискних механізмів за ознакою силового потоку

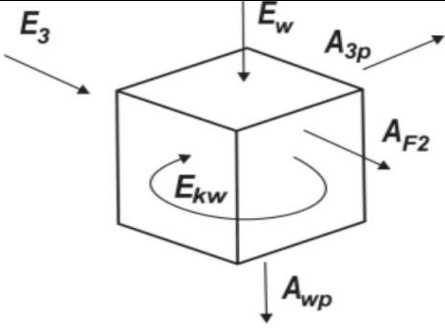
Масив принципів затиску являє морфологічну модель.

Морфологічна модель принципів затиску в згорнутому вигляді представляє морфологічну матрицю:

Таблиця 3.7

Модель енергетичних процесів, які проходять при різних станах та виконанні ЗМ

№ п/п	Стан ЗМ	Модель	Умови рівноваги
1	Затиск при нерухомому шпинделі		$E_3 + A_{F2} + A_3 = 0$
2	Затиск при обертанні шпинделя без компенсації відцентрових сил		$E_3 + E_w + A_{F2} + A_3 + A_w = 0$
3	Затиск при обертанні шпинделя і компенсація відцентрових сил ззовні		$E_3 + E_w + E_{K3} + A_{F2} + A_3 + A_w = 0$
4	Затиск при обертанні шпинделя і компенсація відцентрових сил зсередини		$E_3 + E_w + E_{Kw} + A_{F2} + A_3 + A_w = 0$

5	Різання затиснутою деталі з компенсацією відцентрових сил зсередини		$E_3 + E_{wp} + E_{KW} + A_{F2} + A_{3p} + A_{wp} = 0$
---	--	---	--

$$M_{ПЗ} = M_{ДЕ} \wedge M_{СД} \wedge M_{СВ}, \quad (3.12)$$

де $M_{ДЕ}$, $M_{СД}$, $M_{СВ}$ - морфологічні матриці відповідно джерела енергії, силових джерел та зони затиску, силових впливів.

$$M_{ПЗ} = \begin{bmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 2.1 & 3.1 \\ 2.2 & 3.2 \\ 2.3 & 3.3 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 4.1 & 5.1 \\ 4.2 & 5.2 \\ 4.3 & 5.3 \\ 4.4 & 5.4 \\ 4.5 & 5.5 \end{bmatrix}, \quad (3.13)$$

в якому $M_{ПЗ} = 5 * 3 * 3 * 5 * 5 = 750$ варіантів рішень, із яких відомо на сьогоднішній день близько сотні.

Для одного джерела енергії (ДЕ) число варіантів рішень $N'_{ПЗ} = 3 * 3 * 5 * 5 = 225$, а для подвійного зовнішнього затиску від тягнучого зусилля F_{x1} та M_{x1} з одним і двома силовими потоками отримали морфологічну матрицю:

$$M'_{ПЗ} = \begin{bmatrix} 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 \\ 2.2 & 3.2 & 4.3 & 5.5 \end{bmatrix}, \quad (3.14)$$

що дасть $N_{ПЗ} = 2 * 2 * 3 * 1 = 12$ варіантів, (таблиця 3.9).

Якщо збільшити кількість ознак за рахунок конкретизації, то морфологічна модель матиме характерні ознаками, що відносяться до ЗМ в цілому, приводу затиску (ПрЗ), виконавчому органу – затискного патрону (ЗП) і різних функцій, що забезпечує працездатність і нормальне функціонування ЗМ в складі всього верстата, наприклад, токарного автомата (табл.2.8) [40].

Таблиця 3.8

Морфологічна таблиця принципу затиску тіла обертання у вигляді силового потоку (від джерела енергії до об'єкта затиску)

1.Джерело енергії (ДЕ)	Кількість		Силовий вплив	
	2. Силкових потоків (вхідних)	3. Місце затиску (вихідний)	4. Вхідний	5. Вихідний
1.1 Електромагнітне поле. 1.2 Пружне поле. 1.3 Тепло. 1.4 Холод. 1.5 Ручний.	2.1 Один. 2.2 Два. 2.3 Декілька.	2.1 Один. 2.2 Два. 2.3 Декілька.	4.1 Осьове тягнуче (F_{x1}). 4.2 Осьове натискне (F_{x1}). 4.3 Крутний момент правий M_{x1} . 4.4 Крутний момент лівий \underline{M}_{x1} . 4.5 Комбінований $F_{x1} + M_{x1}$.	5.1 Радіальне до осі шпинделя F_{y2} . 5.2 Радіальне від осі шпинделя \underline{F}_{y2} . 5.3 Осьове тягнуче F_{x2} . 5.4 Осьове натискне \underline{F}_{x2} . 5.5 Комбіноване $F_{y2} + F_{x2}$.

Таблиця 3.9

Принципи затиску з морфологічної матриці

№ вар-ту	Морфологічна формула	Структура силових потоків
X_1	$2 * 1 - 3 * 1 - 4 * 1 - 5 * 1$	$F_{x1} - F_{y2}$
X_2	$2 * 1 - 3 * 1 - 4 * 3 - 5 * 1$	$M_{x1} - F_{y2}$
X_3	$2 * 1 - 3 * 2 - 4 * 5 - 5 * 1$	$(F_{x1} + M_{x1}) - F_{y2}$
X_4	$2 * 1 - 3 * 2 - 4 * 1 - 5 * 1$	$F_{x1} - 2F_{y2} = F_{x1} - (F_{y2}^1 + F_{y2}^2)$
X_5	$2 * 1 - 3 * 2 - 4 * 3 - 5 * 1$	$M_{x1} - 2F_{y2} = C - (F_{y2}^1 + F_{y2}^2)$
X_6	$2 * 1 - 3 * 2 - 4 * 5 - 5 * 1$	$(F_{x1} + C) - 2F_{y2} = (F_{x1} + M_{x1}) - (F_{y2}^1 + F_{y2}^2)$
X_7	$2 * 2 - 3 * 1 - 4 * 3 - 5 * 1$	$2F_{x1} - F_{y2} = (F_{x1}^1 + F_{x1}^2) - F_{y2}$

X_8	$2 * 2 - 3 * 1 - 4 * 3 - 5 * 1$	$2M_{x1} - F_{y2} = (M_{x1}^1 + M_{x1}^2) - F_{y2}$
X_9	$2 * 2 - 3 * 2 - 4 * 3 - 5 * 1$	$2(F_{x1} + M_{x1}) - F_{y2}$
X_{10}	$2 * 2 - 3 * 2 - 4 * 1 - 5 * 1$	$2F_{x1} - 2F_{y2} = (F_{x1}^1 + F_{x1}^2) - (F_{y1}^1 + F_{y2}^2)$
X_{11}	$2 * 2 - 3 * 2 - 4 * 3 - 5 * 1$	$2M_{x1} - 2F_{y2} = (M_{x1}^1 + M_{x1}^2) - (F_{y1}^1 + F_{y1}^2)$
X_{12}	$2 * 2 - 3 * 2 - 4 * 5 - 5 * 1$	$2(F_{x1} + M_{x1}) - 2F_{y2} = 2(F_{x1} + M_{x1}) - (F_{y2}^1 + F_{y2}^2)$

Морфологічну модель способів затиску можна представити у вигляді об'єднання морфологічних матриць:

Розгорнутий вигляд

$$M_{C3} = \begin{vmatrix} 1 \cdot 1 & 2 \cdot 1 \\ 1 \cdot 2 & 2 \cdot 2 \\ & 2 \cdot 3 \\ & 2 \cdot 4 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 3 \cdot 1 & 4 \cdot 1 \\ 3 \cdot 2 & 4 \cdot 2 \\ 3 \cdot 3 & 4 \cdot 3 \\ 3 \cdot 4 & 4 \cdot 4 \\ 3 \cdot 5 & 4 \cdot 4 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 5 \cdot 1 & 6 \cdot 1 & 7 \cdot 1 \\ 5 \cdot 2 & 6 \cdot 2 & 7 \cdot 2 \\ 5 \cdot 3 & 6 \cdot 3 & 7 \cdot 3 \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 8 \cdot 1 & 9 \cdot 1 \\ 8 \cdot 2 & 9 \cdot 2 \\ 8 \cdot 3 & 9 \cdot 3 \\ 8 \cdot 4 & 9 \cdot 4 \end{vmatrix} \quad (3.15)$$

Згорнутий вигляд

$$M_{C3} = M_{ЗМ} \wedge M_{ПрЗ} \wedge M_{ЗП} \wedge M_{Ф} \quad (3.14)$$

де $M_{ЗМ}$, $M_{ЗМ}$, $M_{ПрЗ}$, $M_{ЗП}$, $M_{Ф}$ - морфологічні матриці відповідно затискного механізму (ЗМ) як технічної системи в цілому; приводу затиску (ПрЗ) як системи; затискного патрона (ЗП) як підсистеми; функцій, які виконуються ЗМ.

3.4. Моделювання та синтез затискних механізмів з різними перетворювачами силових потоків і видом передавальної середовища

Для опису затискних патронів на популяційному рівні між входом і виходом силового потоку вводиться перетворювач (сили, переміщення і енергії).

Перетворення енергії в силовому (енергетичному) потоці може здійснюватися різними перетворювачами, які в механічному виконанні зводяться до обмеженої кількості і можуть бути наступні (Рис.3.8): а -

важільні (LV), б - клинові (WD), в - спіральні (SL), г - плунжерні (PL), д - гвинтові (SC), е - зубчасті (GR), ж - пружинні (SR).

Схемних реалізація силових потоків в будь-якому простому механізмі з одним перетворювачем на популяційному рівні може бути представлена в вигляді морфологічної моделі (табл.3.10).

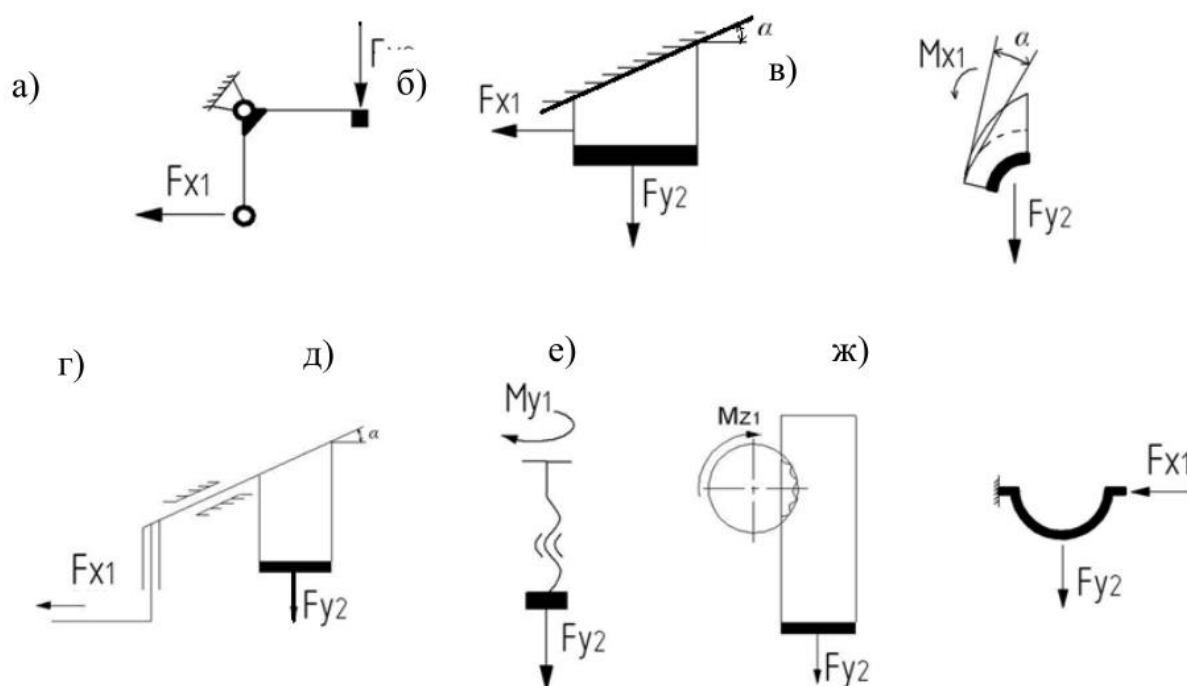


Рис.3.5. Механічні перетворювачі енергії: а - level (LV); б - wadge (WD); в - spiral (SP); г - plunger (PL); д - screw (SC); е - gear (GR); ж - spring (SR)

Морфологічна таблиця схем простих затискних патронів на
популяційному рівні

Вхід Od^1	Перетворювач	Вихід Od^2
1.1. $+F_{x1}$	2.1. LV	3.1. $+F_{x2}$
1.2. $-F_{x1}$	2.2. WD	3.2. $-F_{x2}$
1.3. $+F_{y1}$	2.3. SL	3.3. $+F_{y2}$
1.4. $-F_{y1}$	2.4. PL	3.4. $-F_{y2}$
1.5. $+F_{z1}$	2.5. SC	3.5. $+F_{z2}$
1.6. $-F_{z1}$	2.6. GR	3.6. $-F_{z2}$
1.7. $+M_{x1}$	2.7. SR	
1.8. $-M_{x1}$		
1.9. $+M_{y1}$		
1.10. $-M_{y1}$		
1.11. $+M_{z1}$		
1.12. $-M_{z1}$		

а)

Вхід Od^1 Перетворювач Вихід Od^2 Об'єкт затиску

б)

Od^1 Od^2

F_{x1} LV F_{y2} CL

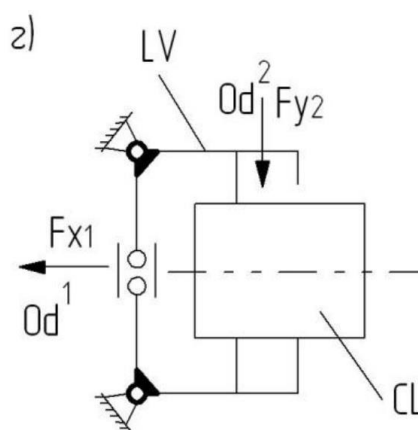
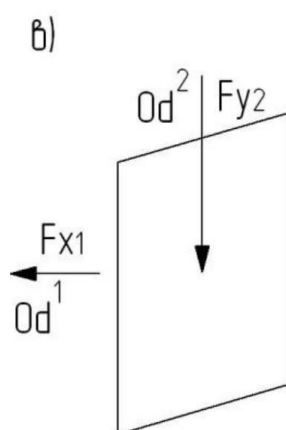


Рис.3.6. Узагальнена структура (а), конкретна генетична формула (б), силовий потік (в) і
схема важільного затискного патрона (з)

На рис.3.6, б, г представлені генетична формула і схема важільного (LV) затискного патрона для закріплення циліндричних деталей (CL), в якому осьова сила (F_{x1}) від джерела енергії (приводу) перетвориться в радіальну (нормальну до поверхні деталі) силу (F_{y2}) (рис.3.9, в).

Користуючись циліндричною системою координат нижче розглянуті різні види перетворювачів енергії (переміщень, швидкостей, сил і моментів) в силових потоках ЗМ і ЗП (рис.3.10 - 3.14).

У різних ТС, в тому числі і ЗМ, силові (енергетичні) потоки можуть бути:

M_x - механічні передачі і перетворювачі з допомогою твердих тіл, в тому числі і сил пружності;

E - електромагнітні поля, що діють безпосередньо або в складі (структурі) електромеханічних систем передачі і перетворення;

P - рідкотекучі і в'язкі середовища для передачі і перетворення;

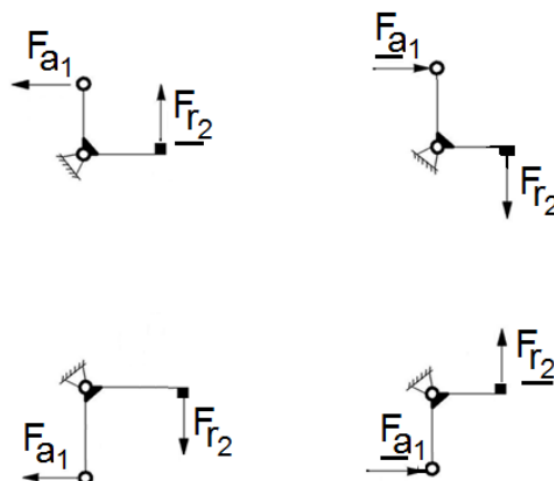
Π - повітряні середовища для передачі і перетворення, в тому числі вакуум;

M - магнітні поля тяжіння і відштовхування;

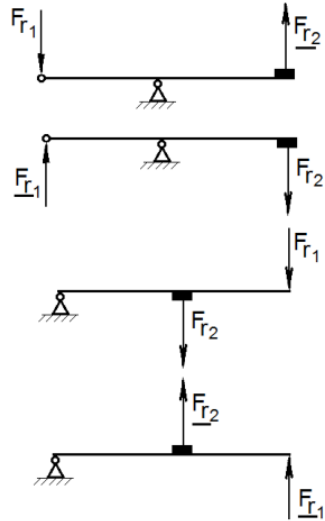
T - теплові потоки розширення і звуження при нагріванні і охолодженні;

ВЦ - відцентрові сили від обертання неврівноважених частин.

а) $F_{a1} - F_{r2}$



б) $F_{r1} - F_{r2}$



в) $F_{a1} - F_{a2}$

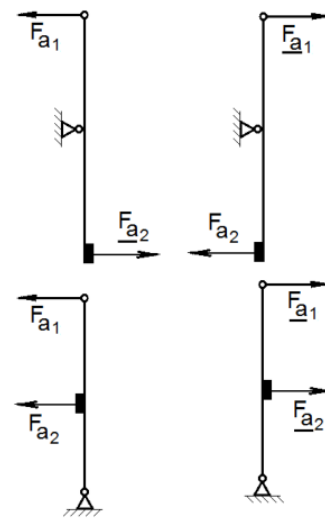


Рис.3.7. Види важільних перетворювачів (LV) в ЗМ

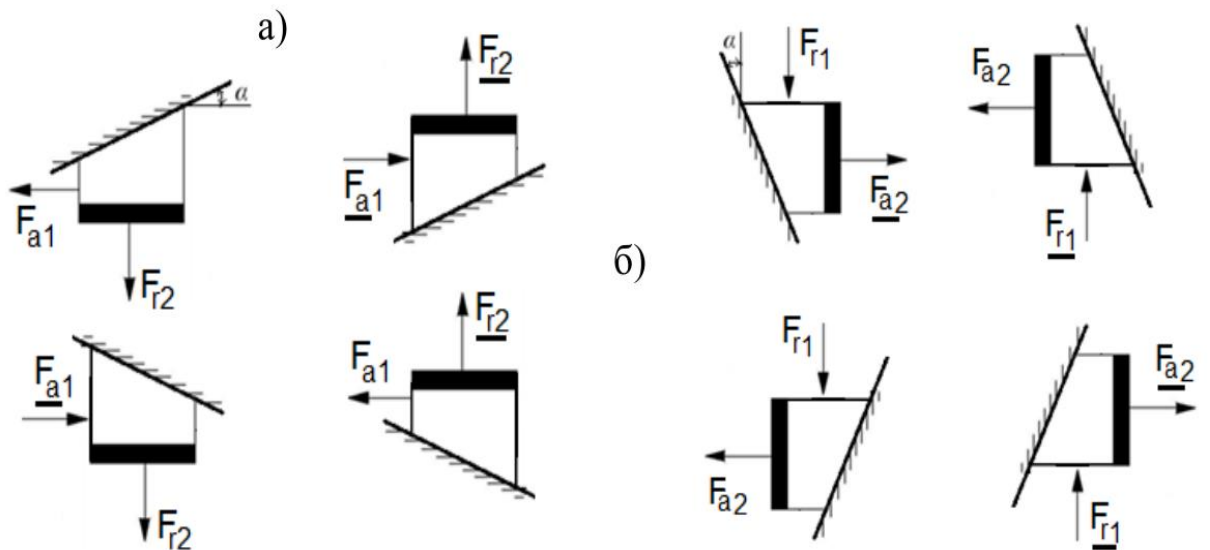


Рис.3.8. Види клинових перетворювачів (WD) в ЗМ: а - уздовж осі обертання;

б - поперек (радіально) осі обертання

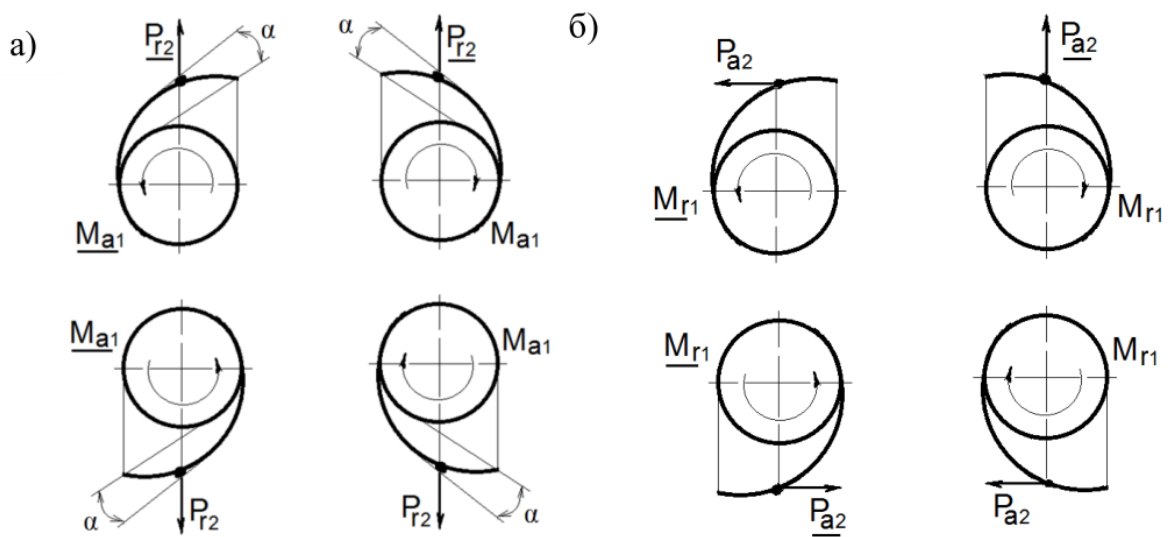


Рис.3.9. Види спіральних перетворювачів (SP) в 3М: а - з віссю обертання паралельно осі обертання шпинделя; б - теж перпендикулярно осі обертання шпинделя

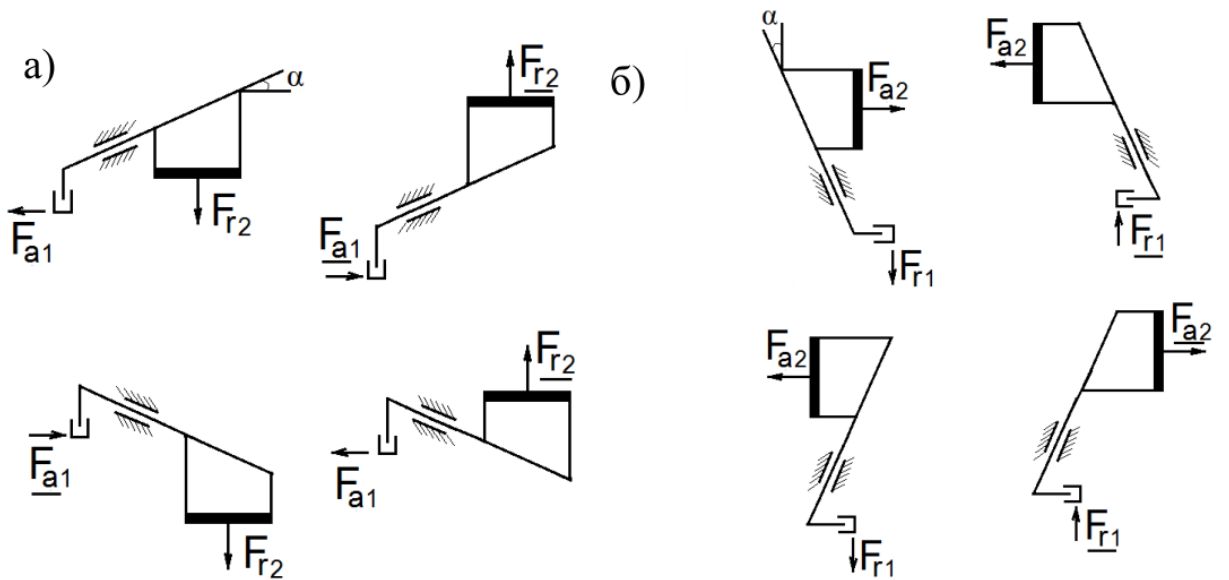
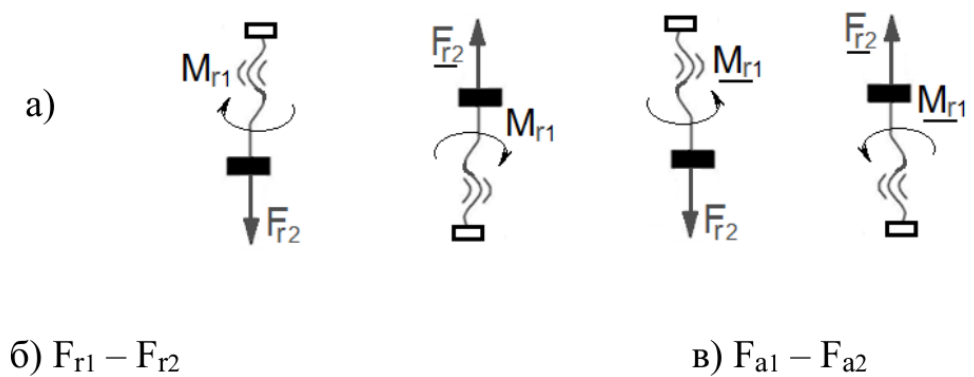


Рис.3.10. Види плунжерних перетворювачів (PL) в 3М: а - вздовж осі обертання; б - поперек (радіально) осі обертання



б) $F_{r1} - F_{r2}$

в) $F_{a1} - F_{a2}$

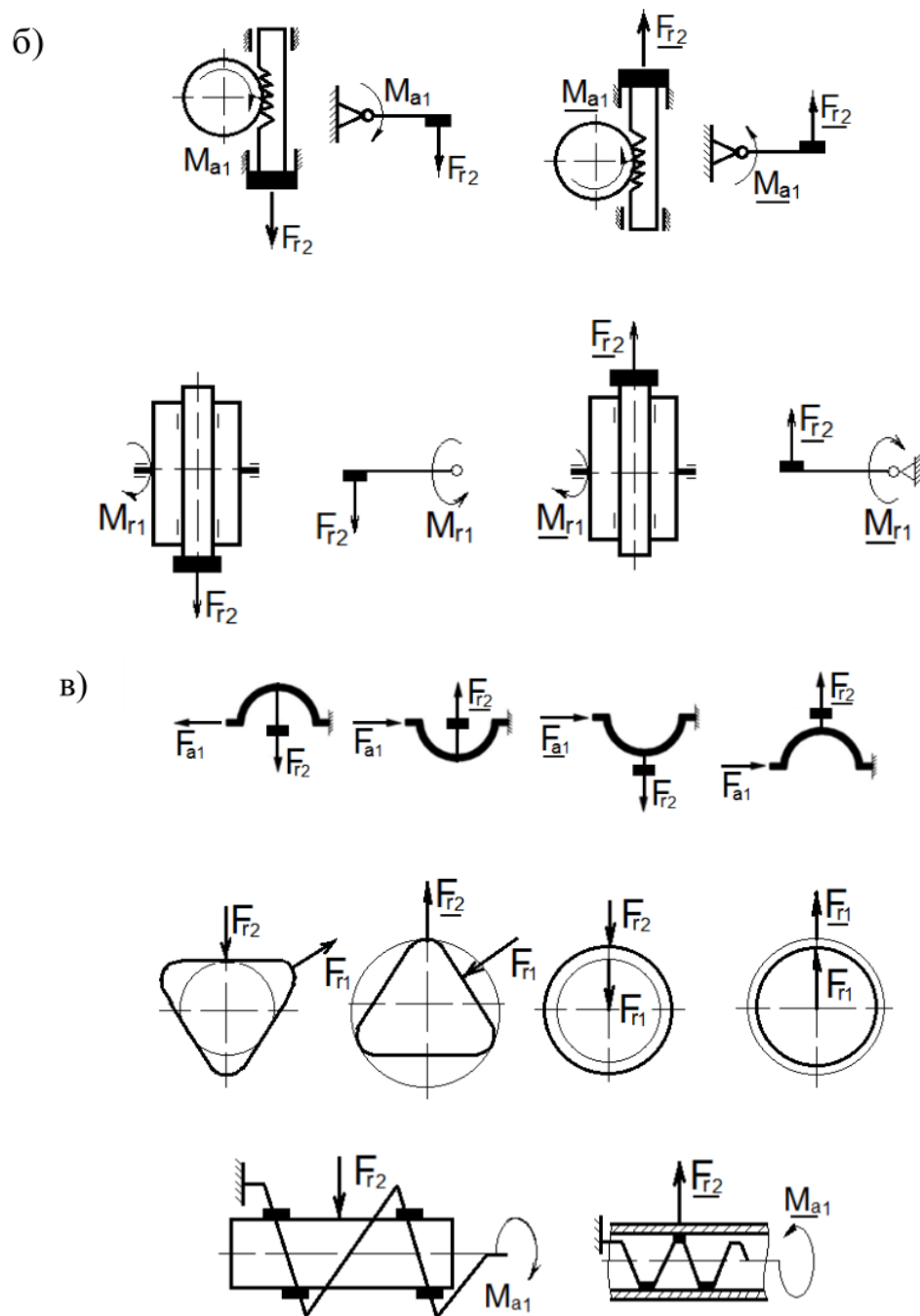


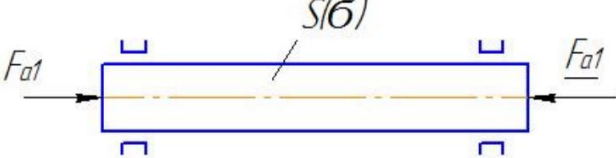
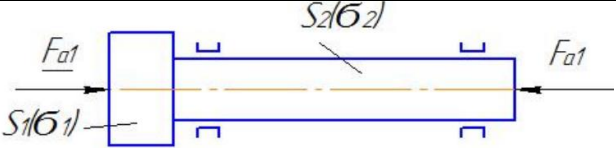
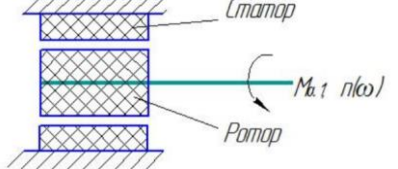
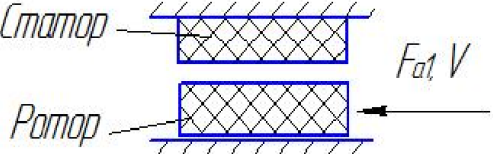
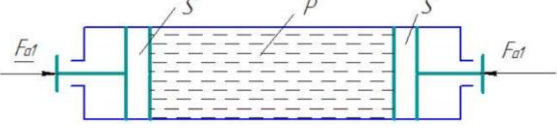
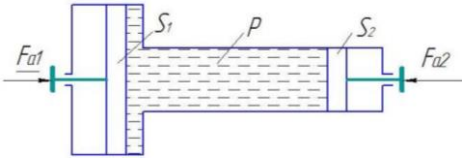
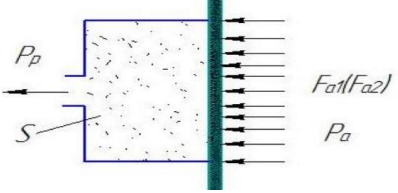
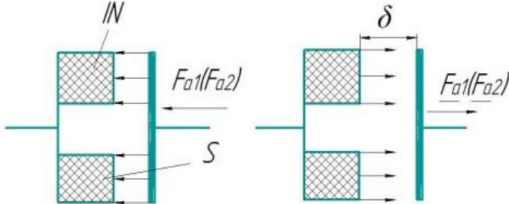
Рис.3.14. Види перетворювачів в ЗМ: а - гвинтових (SC); б - зубчастих (GR); в - пружних (SR)

Схеми і характеристики силових (енергетичних) потоків з різними середовищами передачі і перетворення наведені в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Види силових потоків з різними середовищами в ЗМ

№	Вид	Схема потоку з різними середовищами	Ознаки передачі і
---	-----	-------------------------------------	-------------------

П/П	ПОТОКУ		перетворення
1	М		$ F_{a1} = S \cdot \sigma$
2			$ F_{a1} = S_1 \cdot \sigma_1$ $ F_{a1} = S_2 \cdot \sigma_2$
3	Е		$M_{a1} = IBS_B$
4			$F_{a1} = IBL$
5	Р(II) Р(II)		$ F_{a1} = S \cdot p$
6			$ F_{a1} = S_1 \cdot p$ $ F_{a2} = S_2 \cdot p$ $\frac{S_1}{ F_{a1} } = \frac{S_2}{ F_{a2} }$ $K_{yc} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{ F_{a1} }{ F_{a2} }$
7	П		$F_{a1} = P_p S$ $F_{a2} = S(P_a - P_p)$
8	М		Постійний струм $ F_{a2} = \frac{1}{2} (IN)^2 \mu_o \frac{S}{\delta^2}$ Змінний струм $ F_{a2} = \frac{1}{4} (IN)^2 \mu_o \frac{S}{\delta^2}$

9	ВЦ		$F_{r2} = F_{\omega}$ $F_{\omega} = z \cdot m \cdot \omega^2 R$
---	----	--	---

Примітка: S - площа тіла (середовища); σ -нормально напруги розтягування-стиснення в твердому тілі; M_{a1} - крутний момент сил електромагнітного поля; S_1, S_2 - рідинних або повітряного середовища з боку відповідно входу і виходу; $n(\omega)$ - частота (кутова швидкість) обертання; P_p - розрядження (тиск); P_a - атмосферний тиск; I – сила струму, N - число витків котушки; μ_0 - магнітна постійна; R – радіус невідновжених мас m ; B - індукція; S_B - площа витків; L – довжина.

3.5.Еволюція і прогнозування високоточних і високошвидкісних осесиметричних ЗМ

При схемному синтезі ЗМ доцільно використовувати морфологічний підхід і комбінаторні алгоритми [41], які представляють комбінаторні обчислювання з набору спеціальних методів і прийомів, наприклад, двійкову систему наявності елементів в системі ЗМ, що удосконалюється або спрощується (1–є, 0–немає).

Починаючи з перших механізованих осесиметричних ЗМ, які широко використовуються в токарних, свердлильних, фрезерних, шліфувальних і багатоцільових верстатах, присутні наступні елементи системи (рис.1): джерело енергії (ДЕ) , перетворювачі енергії (ПЕ), приводи затиску (ПЗ), затискний патрон (ЗП), об'єкт затиску (ОЗ). Останній може бути штучною, прутковою, трубною чи іншою заготовкою для виготовленої деталі, наприклад, в токарних верстатах, або інструментом (свердлом, фрезою, шліфувальним кругом, тощо).

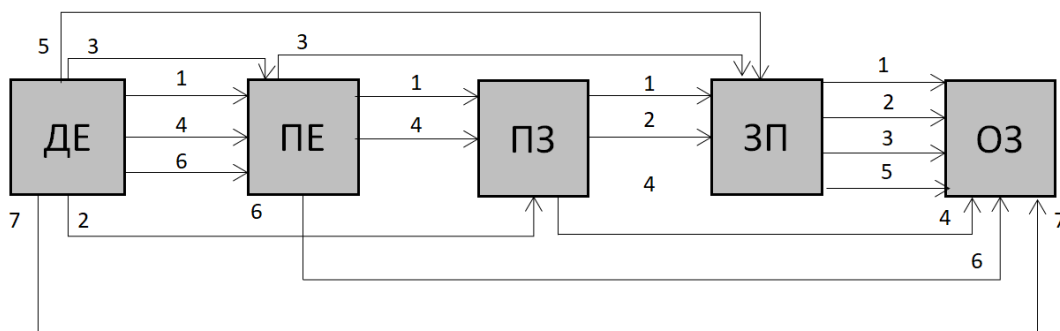


Рис.1.

Рис.3.15 Елементи системи ЗМ і зв'язки між ними

В будь-якій системі ЗМ обов'язково повинні бути вхід (джерело енергії-вага 1) і вихід (об'єкт затиску-вага 1). Всі інші елементи в послідовному ланцюгу без врахування системи керування (ПЕ, ПЗ, ЗП) в принципі можуть бути і не бути при спрощенні і скороченні ланцюгу.

Згідно теорії еволюційного і генетичного синтезу [42-44] виникає можливість 100% прогнозування і спрямованого синтезу нових ЗМ з використанням породжувальних систем з заданою цільовою функцією [45], що вимагає складних математичних перетворень з побудовою моделей мікро і макроеволюцій, а також написанням громіздких структурних генетичних формул [44,46].

Тому в роботі запропонований спрощений системно-морфологічний підхід з побудовою цифрової матриці з поступовим вилученням елементів системи при двійковому кодуванні (рис.3.5).

Таким чином в еволюційному розвитку системи ЗМ можна передбачити від минулого через сучасне до майбутнього 7 комбінаторних сполучень з наступними кодами: ЗМ1-11111, ЗМ2-10111, ЗМ3-11011, ЗМ4-11101, ЗМ5-10011, ЗМ6-11001, ЗМ7-10001. До сих пір у виробництві переважно використовуються системи ЗМ1-ЗМ3 (рис.3.16,а-в), частково ЗМ4 (рис.3.16,г).

Элемент системы Вариант системы	ДЕ	ПЕ	ПЗ	ЗП	ОЗ
ЗМ1	1	1	1	1	1
ЗМ2	1	0	1	1	1
ЗМ3	1	1	0	1	1
ЗМ4	1	1	1	0	1
ЗМ5	1	0	0	1	1
ЗМ6	1	1	0	0	1
ЗМ7	1	0	0	0	1

Рис.3.15. Двійкова морфологічна матриця еволюції удосконалення системи ЗМ

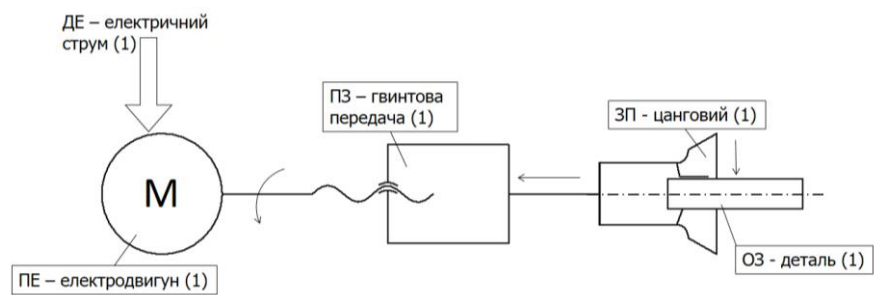
Код ЗМ1-11111 (рис.3.16,а), як один з варіантів, може бути реалізований з використанням електродвигуна (ПЕ) і гвинтової передачі (ПЗ) [48,47], а затиск деталі (ОЗ) за допомогою цангового ЗП.

Код ЗМ2-10111 (рис.3.16,б) без перетворювача енергії (ПЕ) можна реалізувати з використанням приводу затиску (ПЗ) у вигляді лінійного електродвигуна [49,46] і цангового ЗП.

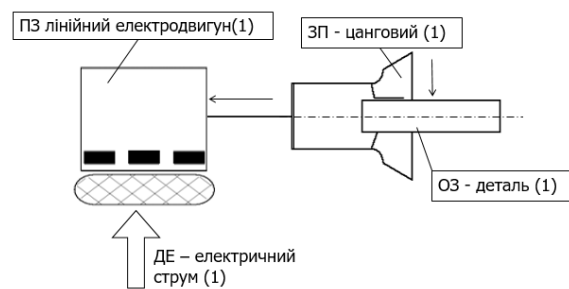
Код ЗМ3-11011 (рис.3.16,в) без приводу затиску (ПЗ) можна реалізувати з аналогічним на рис.3.16,а джерелом (ДЕ) і перетворювачем (ПЕ) енергії, що з'єднаний безпосередньо з поворотним затискним патроном (ЗП) з цангою, робочі губки якої зовні виконані по спіралі, а пружні пелюстки у вигляді пружного фланця [41,50,51].

Код ЗМ4-11101 (рис.3.16,г) без затискного патрона (ЗП) можна реалізувати з аналогічним на рис.3,а джерелом (ДЕ), перетворювачем енергії (ПЕ) і гвинтовим приводом затиску (ПЗ), який безпосередньо з торця затискає деталь (ОЗ) [51]. Реалізація кода ЗМ5-10011 (рис.3.16,д) без перетворювача енергії (ПЕ) і приводу затиску (ПЗ) потребує знань в нанотехнологіях.

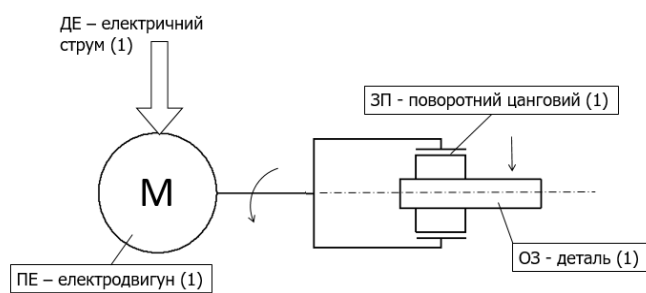
а)



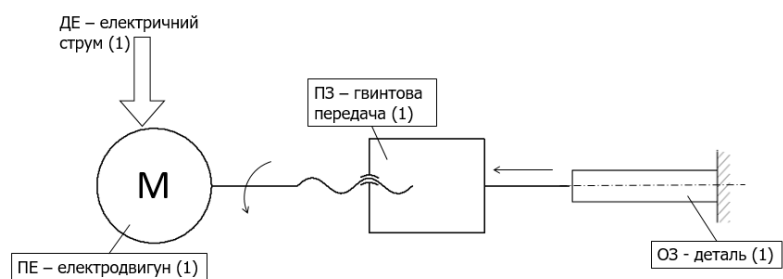
б)



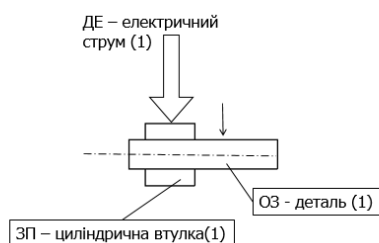
в)



г)



д)



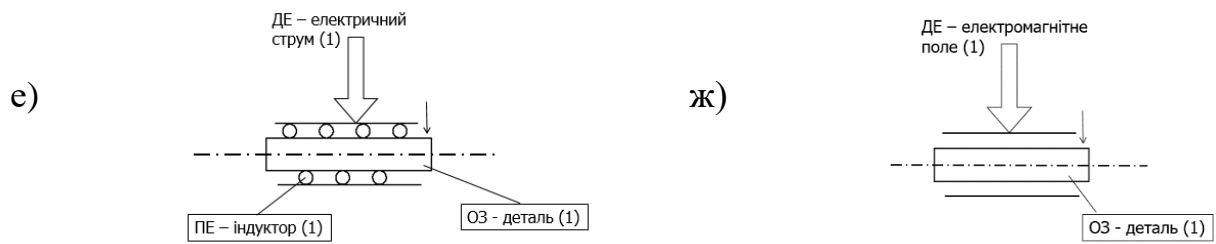


Рис.3.16. Принципові схеми ЗМ згідно кодів комбінаторних сполучень (рис.3.15): а)ЗМ1-11111; б)ЗМ2-10111; в)ЗМ3-11011; г)ЗМ4-11101; д)ЗМ5-10011; е)ЗМ6-11001; ж)ЗМ7-10001 (стрілками позначені рухи)

Реалізація кодів ЗМ6-11001 (рис.3.16,е) і ЗМ7-10001 вимагають використання нових знань, нових фізичних та інших ефектів і навіть наукових відкрить [51].

Розділ 4. Основні поняття нанотехнології, види та методи дослідження

4.1 Визчення та поняття в нанотехнології

Нанотехнології як міждисциплінарний напрямок в науці і техніці сформувалося протягом останніх 20-25 років і вивчає об'єкти, розміри котрих складають приблизно 1,0-100 нм, або так звані малорозмірні об'єкти. Важливою і невід'ємною завданням цього напрямку є розробники ка наноструктурних матеріалів: нанокристаллических, нанокомпозитних, нанофазних, нановолокністих і т. д. Основні структурні елементи наноматеріалів (кристалітів, волокна, шари, пори) не перевищують 100 нм. У завдання матеріаловедчеськіх досліджень входить встановлення різноманітних зв'язків між властивостями і структурою матеріалів з виявленням оптимальних наноструктури, що здійснюється в тісному зв'язку з технологією виготовлення і післядующої експлуатацією наноструктурних матеріалів, т. е. з нанотехнологіями[1].

Завдяки своїм унікальним властивостям наноструктурні матеріали (наноматеріали) займають провідне становище в матеріалознавстві при активному розширенні сфери застосування в різних галузях промисловості, медицині, біології та інших напрямках.

Термін «нанотехнологія» вперше був використаний японським ученим К. Танігучі в 1974 р під час обговорення проблем обробки крихких матеріалів. Принципове значення малорозмірних об'єктів було підкреслено нобелівським лауреатом Р. Фейнманом в 1959 р.

Деякі ідеї Р. Фейнмана були розвинені Е. Дрекслер (Массачусетський технологічний інститут, США). У 1986 р виходить його книга «Машини творення: настання епохи нанотехнології ». Грунтуючись на біологічних моделях, автор ввів уявлення про молекулярні робототехнічних машинах. На противагу традиційному технологічному підходу «зверху - вниз» (Типовий приклад - подрібнення) стосовно мініатюризації інтегральний схем було

звернуто увагу на стратегію «знизу - вгору» (імеється на увазі атомна і молекулярна збірка, про що раніше згадував Р. Фейнман).

У 1990 р в компанії IBM за допомогою скануючого тунельного мікроскопа була складена аббревіатура IBM з 35 ксенонових атомів на межі (110) нікелевого монокристала, що блискуче підтвердило реальність ідей атомної архітектури та продемонструвало можливості нанотехнології.

Паралельно розвивалися і концепції наноматеріалів. Вперше вони були сформульовані стосовно до металевих матеріалів Г. Глейтером (1981); їм же був введений термін «нанокристалічні» матеріали, пізніше стали використовуватися такі терміни, як «наноструктурні», «нанофазних», «Нанокompозитні» і т. Д. Головна роль, згідно з цією концепцією, була відведена поверхнях розділу (кордонів зерен) як фактору, що дозволяє сущеного змінити властивості твердих тіл шляхом модифікації структури і електротронного будови, а також за рахунок легування хімічними елементами незалежно від розмірів їх атомів і типу хімічного зв'язку. Г. Глейтером був також запропонований метод отримання наноматеріалів, що полягає в поєднанні виготовлення ультрадисперсних порошків шляхом випаровування - конденсації з їх подальшою вакуумної консолідацією при високому тиску, що забез Чіва отримання дископодібних зразків діаметром до 10-20 мм і товщиною до 0,1-0,5 мм.

Наукові дослідження нанооб'єктів починаються в XIX в., Коли М. Фарадей (1856-1857) отримує і досліджує властивості колоїдних розчинів високодисперсного золота і тонких плівок на його основі. Зазначене М. Фарадеєм зміна кольору в залежності від розміру часток - чи не перший приклад дослідження розмірних ефектів в нанооб'єктів. Широкий інтерес, який проявляється до них останнім часом, обумовлений, по крайній мірі, трьома обставинами.

1. Методи нанотехнології дозволяють отримати принципово нові пристрої і матеріали з характеристиками, що значно перевершують їх

сучасний рівень, що вельми важливо для інтенсивного розвитку багатьох областей техніки, біотехнології, медицини, охорони навколишнього середовища, оборони і т. д.

2. Нанотехнології виявилася вельми широким міждисциплінарним напрямком, що об'єднує фахівців у галузі фізики, хімії, матеріалознавства, біології, медицини, технології, наук про Землю, комп'ютерної техніки, економіки, соціології та ін.

3. Рішення проблем нанотехнології виявило багато прогалин як у фундаментальних, так і в технологічних знаннях, що сприяло концентруванню уваги науково-інженерного співтовариства в цьому напрямку.

4.2 Технології та розмірність в наноматеріалах

Великого поширення набули такі терміни з приставкою «нано», як «нанотехнологія», «наноелектроніка», «нанохімія». В американській літературі поняття «нанотехнологія» прийнято визначати як вміння цілеспрямовано створювати і використовувати матеріали, обладнання й системи, структурні елементи яких мають розмір приблизно 1-100 нм. Наука про малорозмірних об'єктах (nanoscience) - це сукупність знань про властивості речовин і явищ у нанометровому масштабі.

Наночастки (нанопорошки) - це малорозмірні тверді речовини, геометричний розмір яких змінюється від десятих часток до 100 нм. Поняття «наночастинки» і «нанопорошки» багато в чому умовні, і, звичайно, слід мати на увазі можливий ізольований характер перших і обов'язково сукупний вид останніх (порошок - це сукупність знаходяться в зіткненні індивідуальних твердих частинок невеликих розмірів (від 0,001 до 10³ мкм)). Вважається, що наночастинки зі зменшенням розміру переходять в кластери, що містять від 10 до кількох тисяч атомів (за різними даними приблизно до 2000-10000). Вважають також, що для кластерів, на відміну від кристалічних частинок, характерна втрата трансляційної симетрії [2].

Терміни «нанопорошки» і «ультрадисперсні порошки» далі будемо використовувати як синоніми.

Надалі основна увага буде приділена консолідованим наноматеріалів. Саме для цих об'єктів до теперішнього часу отримана велика і досить систематизована інформація. Відомості про інші різновиди наноматеріалів, включаючи наночастки і нанопорошки, будуть обмежені даними про синтез і фізичних характеристиках.

4.3. Характеристик основних видів наноматеріалів

Серед наноматеріалів можна виділити кілька основних різновидів:

- 1) консолідовані наноматеріали;
- 2) нанополупроводнікі;
- 3) нанополімери;
- 4) нанобіоматеріали;
- 5) фулерени і тубулярні наноструктури;
- 6) каталізатори;
- 7) нанопористі матеріали;
- 8) супрамолекулярні структури.

Це розділення вельми умовно, оскільки існують, наприклад, гібридні металлополімерніє або біополімерні нанокompозити. Причому в клас наноматеріалів входять як нові (наприклад, нанотрубчатим матеріалами всього лише 20 років), так і досить старі об'єкти (наприклад, каталізатори і нанопористі матеріали)[3].

До *консолідованим наноматеріалів* відносять компакти, плівки та покриття з металів, сплавів і з'єднань, що отримуються методами порошкової технології, інтенсивної пластичної деформації, контрольованої кристалізації з аморфного стану і різноманітними прийомами нанесення плівок і покриттів. Нанозерна (нанокристалітів) цих матеріалів знаходяться не в ізольованому (т. Е. У вигляді окремих утворень) або слабо зв'язаної

(наприклад, наночастки з захисними полімерними оболонками) вигляді, а в консолідованому стані. Міцність межзеренного прошарків в консолідованих наноматеріалах досить висока.

Нанополупроводники, нанополімери і нанобіоматеріали можуть бути як в ізольованому, так і частково в консолідованому стані, утворюючи також гібридні (змішані) матеріали.

Фулерени і тубулярні наноструктури стали предметом численних досліджень починаючи з 1985 року, коли була ідентифікована нова аллотропная форма вуглецю - кластери C_{60} і C_{70} , названі фулеренами (роботи нобелівських лауреатів Н. Крото, Р. Керлі і Р. Сморлі), і особливо з 1991 р, коли японський вчений С. Ішіма виявив вуглецеві нанотрубки в продуктах електродугового випаровування графіту.

Нанопористі матеріали характеризуються розміром пір, як правило, менше 100 нм.

Каталізатори - один із прикладів давно досліджуваних і широко застосовуваних нанооб'єктів.

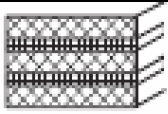
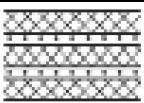
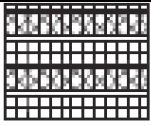
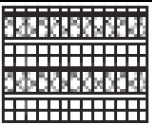
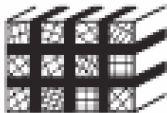
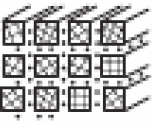
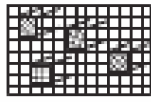

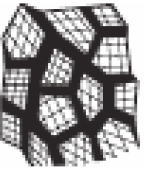
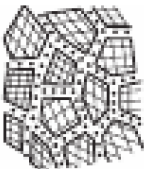
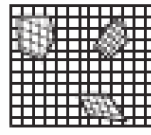
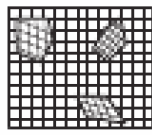
Супрамолекулярні структури - це наноструктури, одержувані в результаті так званого Нековалентні синтезу з утворенням слабких (вандерваальсова, водневих і ін.) Зв'язків між молекулами і їх ансамблями[5].

Таким чином, перераховані види наноматеріалів вельми відрізняються як за технологією виготовлення, так і за функціональними ознаками, їх об'єднує тільки характерний малий розмір часток, зерен, трубок, пор, що визначає структуру і властивості. Мінімальний розмір структурних елементів становить 0,1-1,0 нм, т. Е. По суті відповідає розмірам окремих атомів і молекул, максимальний розмір - 100 нм - встановлений умовно.

Властивості нано-структурних матеріалів, в тому числі характеристики експлуатаційних властивостей, визначаються їх структурою; вивчення останньої є однією з важливих завдань нано-структурного матеріалознавства [3]. Скористаємося класифікацією Г. Глейтера, щоб охарактеризувати основні типи структур неpolімерних нано-матеріалів (табл.4.1)

Таблиця 4.1

Класифікація нано-матеріалів за складом фаз, розподілу і формі структурних складових

Форма структури	Основний склад	Багатофазний склад структури		
		Статистичний розподіл		Матричний розподіл
		Ідентичні форми	Не ідентичні форми	
Пластинчаста				
Стовпчикова				
Рівно вісна				

За хімічним складом і розподілу фаз можна виділити три типи структур: однофазні, статистичні багатофазні з ідентичними і неідентичних поверхнями розділу і матричні багатофазні. Також виділяють три типи структури за формою: пластинчаста, стовпчикова і містить рівно осні включення. Ця класифікація враховує можливість сегрегації на міжкристалічних межах (ідентичні і неідентичні поверхні розділу). Однак реальне різноманітність структурних типів може бути і більш широким за рахунок змішаних варіантів, наявності пористості, трубчастих і цибулинних структур, полімерних складових і т. д. Найбільш поширеними є одно- і багатофазні матричні і статистичні об'єкти, стовпчасті і багат шарові структури; останні характерні в більшості випадків для плівок.

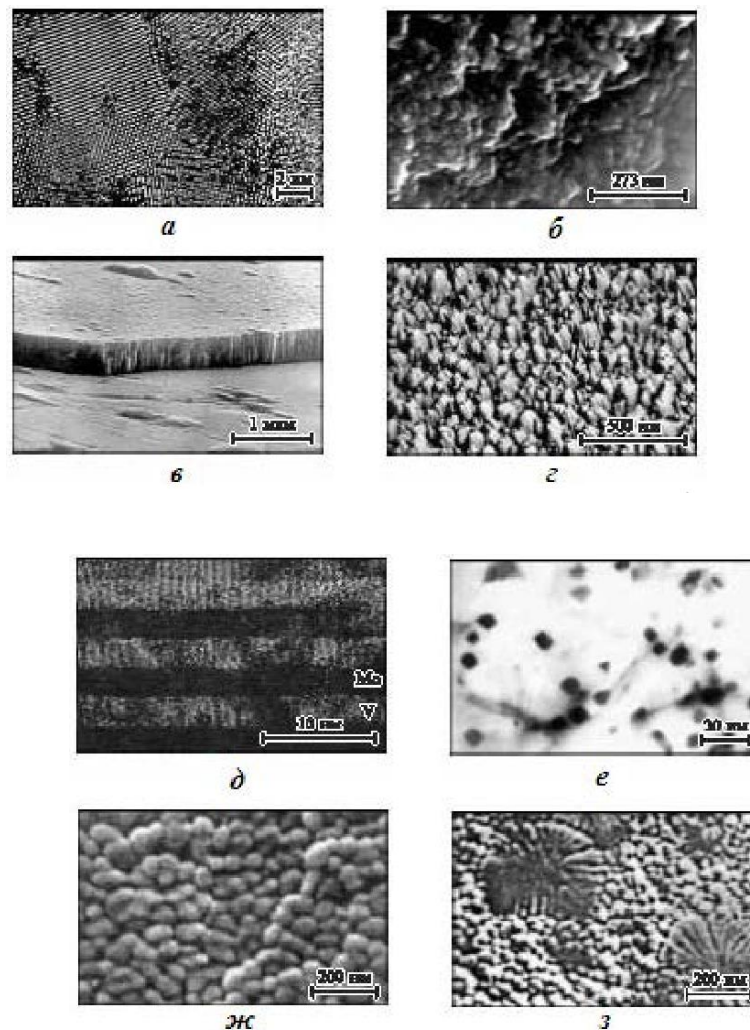


Рис. 4.1. показані типові структури нано-матеріалів. Ці знімки отримані за допомогою високо роздільного і звичайних просвічують електронних мікроскопів (ПЕМ) (рис. 1, а, д-з), високо роздільного скануючого електронного мікроскопа (рис. 1, б, в) і атомно-силового мікроскопа (рис. 1, г) зі збільшенням в 20000-3500000 раз. Стовпчаста і пластинчаста структури плівок представлені на рис. 1, в-д; однофазні структури - на рис. 1, а-г, ж; багатofазні - на рис. 1, д, е, з.

В цілому для структури наноматеріалів характерна велика кількість поверхонь розділу (межзеренного кордонів і потрійних стиків - ліній зустрічі трьох зерен).

На рис. 4.2, а, показана схема потрійного стику, утвореного зернами в вигляді тетраедричних додекаедрів; на рис. 4.2, б, представлена залежність загальної частки поверхонь розділу, а також частки власне межзеренного кордонів і частки потрійних стиків від розміру зерен. Графік на рис. 4.2, б,

побудований на підставі простих геометричних міркувань. Так, загальна частка поверхностей розділу становить

$$V_{\text{п.р.}} = 1 - \left[(L - s) / L \right]^3 \sim 3s / L \quad (4.1)$$

доля власних міжзернових границь

$$V_{\text{м.з}} = [3s(L - s)^2] / L^3 \quad (4.2)$$

і власна доля потрійних стиків

$$V_{\text{п.с}} = V_{\text{п.р.}} - V_{\text{м.г}} \quad (4.3)$$

де L – розмір зерна; s – ширина границі (приграничної зони).

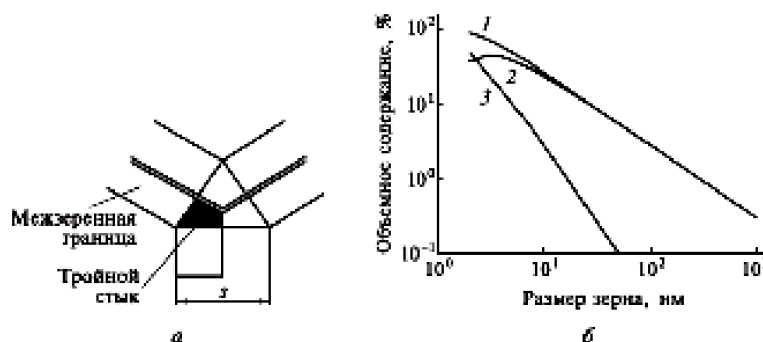


Рис. 4.2. Схема потрійного стику (а) і вплив розміру зерна (б) на загальну частку поверхонь розділу (1), частку межзеренного кордонів (2) і потрійних стиків (3) при $s = 1$ нм

З даних рис. 4.2, б, випливає, що істотна частка поверхонь розділу (кілька відсотків) відповідає розміру зерен $L < 100$ нм; при $L \leq 10$ нм частка $V_{\text{п.р}}$ становить вже кілька десятків відсотків, причому в цьому інтервалі значень L частка потрійних стиків стрімко зростає. Частка поверхонь розділу в загальному обсязі матеріалу приблизно дорівнює $3s / L$, де при $s \approx 1$ нм частка $V_{\text{п.р}} = 50\%$ досягається при $L \approx 6$ нм.

Таким чином, якщо тверде тіло складається з кристалітів розміром кілька нанометрів (< 10 нм), то частка поверхонь розділу або частка областей з разупорядоченою структурою вельми велика.

Основні технологічні методи отримання консолідованих наноматеріалів перераховані в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Основні методи отримання консолідованих наноматеріалів

Метод	Варіанти методу	Об'єкт
Порошкова технологія	Газофазне осадження і компактування (метод Глейтера). Звичайне рессованіє і спікання. Електророзрядне спікання. Гаряча обробка тиском (гаряче пресування, кування, екструзія)	Метали, сплави, з'єднання
Інтенсивна пластична деформація	Деформація кручення при високих тисках. Рівноканальне кутовий пресування. Обробка тиском багатошарових композитів. Фазовий наклеп	Метали, сплави
Контрольована кристалізація з аморфного стану	Крісталлізація при нормальному тиску. Крісталлізація при підвищеному тиску	Аморфні речовини
Технологія плівок та покриттів	Хімічне осадження з газової фази. Фізичне осадження з газової фази. Електроосадження. Золь-гель-технологія	Метали, сплави, з'єднання

У табл. 4.2 наведені також найбільш часто використовувані варіанти цих методів. Зрозуміло, ця класифікація умовна, оскільки кордони між окремими методами, як правило, розмиті. Так, при проведенні інтенсивної пластичної деформації або при нанесенні покриттів часто у вигляді вихідного

сировини використовують порошки, т. е. ці методи можуть бути віднесені і до порошкової технології. Варто також згадати такі методи отримання наноструктур, як опромінення великими дозами нейтронів і іонів, інтенсивну деформацію при терті і ін.

Зрозуміло, що кожен метод має свої переваги і недоліки. Наприклад, прийоми порошкової технології не завжди забезпечують отримання беспорістких наноматеріалів, проте вони більш універсальні стосовно до виготовлення виробів різного розміру і складу. Застосування контрольованої кристалізації з аморфного стану, що забезпечує отримання беспорістких зразків, обмежена складами, доступними для аморфізації. Перераховані в табл. 4.2 методи не конкурують, а швидше доповнюють один одного, істотно розширюючи спектр структур, їх властивостей і практичних додатків. Різноманітність методів отримання наноматеріалів - одна з переваг цих об'єктів. Докладно особливості технології отримання наноматеріалів розглянемо пізніше.

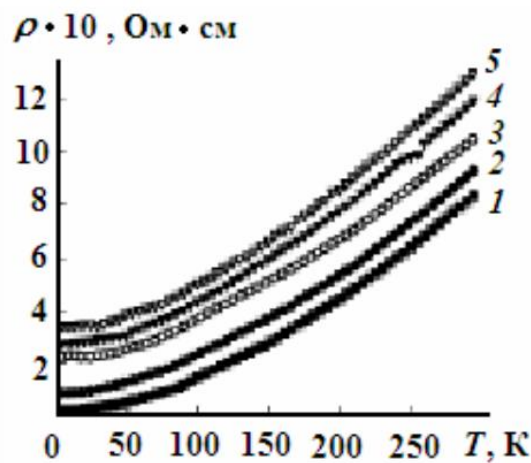
Електроопір наноматеріалів

Відомо, що електроопір металевих твердих тіл визначається в основному розсіюванням електронів на фононах, дефектах структури і домішках. Значне підвищення питомої електроопору ρ зі зменшенням розміру зерна відзначено для багатьох металоподобних наноматеріалів (Cu, Pd, Fe, Ni, Ni - P, Fe - Cu - Si - B, NiAl, нітридів і боридів перехідних металів та ін.). На рис. 4.4 показані температурні залежності електроопору наноструктурних зразків нікелю, отриманих імпульсним електроосадженням ($L = 22 - 3 \times 10^5$ нм; товщина зразка 30-150 мкм). Електроопір збільшується зі зменшенням розміру зерна, очевидно, в зв'язку з зазначеними раніше дефектами структури, але зміна фононного спектра та можливий вплив домішок також слід брати до уваги. В принципі практично для всіх металоподобних наноматеріалів характерна велика залишкове електроопір при $T = 1-10$ К і мале значення температурного коефіцієнта електроопору (ТКЕ)[4].

Помітна зміна електроопору зазвичай починається при $L \leq 100$ нм. Оцінки показують, що питомий електроопір на межзеренного границь становить $\rho_{г.м} \approx 3 \cdot 10^{-12}$ (Ом · см) і є практично однаковим для нано- та крупнокристалічних матеріалів. Таким чином, загальне електроопір наноматеріал можна розрахувати за формулою

$$\rho_{\Sigma} = \rho_0 + \rho_{г.м} (S/V) \quad (4.4)$$

де ρ_0 - електроопір монокристалічного матеріалу із заданим вмістом домішок і дефектів; S - площа межзеренного кордонів; V - об'єм.



Мал. 4.4. Температурна залежність електроопору зразка нікелю з кристаліками розміром 3×10^5 (1), 55 (2), 30 (3), 27 (4), 22 (5) нм

З використанням виразу (4.2) і даних по електроопору моно- і нанокристалічних об'єктів можна оцінити розмір кристалітів по співвідношенню типу $L \sim 2,37 V / S$, який передбачає, що зерна мають форму тетраедричного додекаедру. Для зразків електроосадженні нанокристалічного нікелю такі оцінки L задовільно узгоджуються з результатами РСА. Однак для інших методів виготовлення наноматеріалів використання методу електроопору для визначення L вимагає врахування пористості, наявності домішок та інших факторів.

Зі зменшенням L знижується ТКЕ (температурний коефіцієнт електроопору), рівний $(1 / \rho) (d\rho / dT)$, що зазначено на прикладі Pd, Ni, сплаву Ni - P і ін. Так, при переході від монокристалів до полікристалам і нанокристалів значення ТКЕ диборида титану складають $3 \cdot 10^{-6}$, $1,5 \cdot 10^{-3}$, $0,3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ відповідно. Така зміна пов'язана головним чином зі значним збільшенням електроопору нанооб'єктів, хоча кутові коефіцієнти залежностей $\rho = f(T)$ для нанообразцов трохи нижче, ніж в разі полії монокристалічних зразків.

При аналізі електроопору плівок слід враховувати, як зазначалося раніше, можливість розсіювання електронів зовнішніми поверхнями, а також топографію останніх, наявність столбчатої або багат шарової структури.

Плівки за характером залежності ρ від товщини без урахування нанокристалічності прийнято умовно поділяти на три групи:

1) товсті, провідність яких порівнянна з провідністю крупнокристалічних об'єктів; мінімальна товщина δ таких монокристалічних плівок приблизно понад 100 нм;

2) тонкі ($\delta \sim 10 \text{ нм}$), провідність яких значно менше, ніж товстих, а ТКЕ близький до нуля;

3) острівкові ($\delta \sim 1 \text{ нм}$), провідність яких відрізняється від компактного матеріалу на кілька порядків, а ТКЕ набуває від'ємних значень.

Таким чином, вплив розміру кристалітів на електроопір наноматеріалів вимагає врахування багатьох факторів і не завжди піддається точному аналітичному опису. Але в загальному випадку якщо товщина плівки і розмір кристалітів менше довжини вільного пробігу носіїв, то розсіювання останніх на поверхнях розділу стає істотним, що і призводить до значного зростання електроопору, а фонна взаємодія грає другорядну роль.

Твердість наноматеріалів

Механічні властивості: твердість, міцність, пластичність, пружні характеристики наноматеріалів - інтенсивно вивчаються при кімнатних, низьких і високих температурах. Незалежно від області застосування будь-

які матеріали повинні відповідати певним механічним характеристикам. Міцність і особливо пластичність є високо структурноувствительними параметрами, і для них проблема атестації стосовно наноматеріалів набуває першочергового значення.

На рис. 4.5, а, б, показано вплив розміру зерен на твердість, міцність і відносне подовження зразків заліза, отриманих методом гарячого пресування порошків, підданих інтенсивному подрібненню.

Якщо твердість як найменш структурно-чутлива характеристика закономірно збільшується зі зменшенням розміру зерна, то міцність і особливо пластичність істотно знижуються. Електронно-мікроскопічне дослідження зразків виявило наявність в структурі несплошності і пори з надрізами (рис. 4.5, в), які провокували зародження тріщин, що сприяло зниженню показників міцності і особливо пластичності, нівелюючи позитивний вплив наноструктури.

Наявність пір і інших дефектів, залишкові напружки, домішки в об'ємі зерен і на поверхнях розділу, текстура - все це повинно враховуватися при аналізі механічних властивостей наноматеріалів[6].

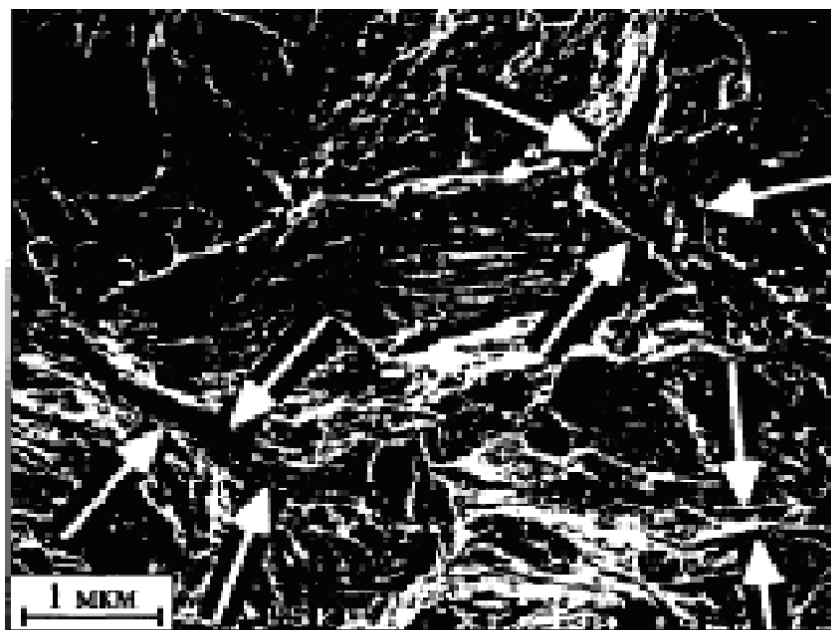
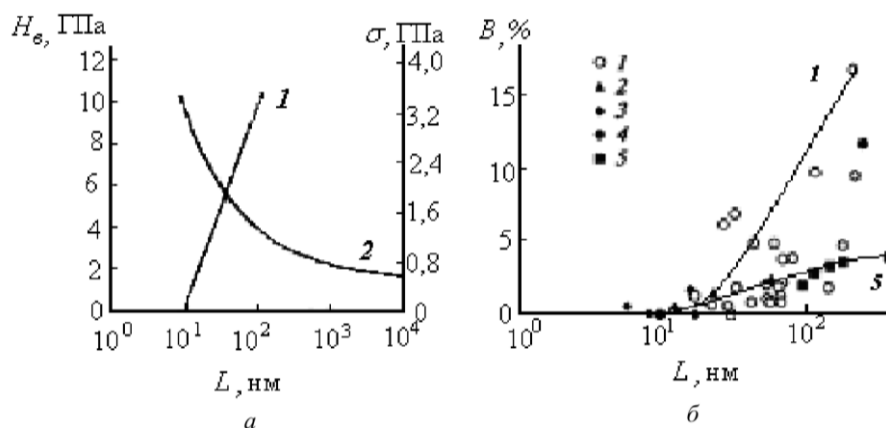
Вплив відносної щільності τ ($\tau = 1 - Q$, де Q - пористість) на твердість і модуль пружності нанокристалічного TiN, отриманого обробкою ультрадисперсного порошку TiN в умовах високих тисків і температур, показано на рис. 4.6. Як видно, залежність має лінійний характер, причому в разі модуля пружності ефект наноструктури в вивчених умовах не проявляється. Для невеликого інтервалу значень пористості при вимірюванні твердості по Віккерсу H_v і модуля Юнга E справедливі лінійні залежності типу

$$H_v = H_{v0}(1 - aQ) \quad (4.1)$$

$$E = E_0(1 - bQ) \quad (4.2)$$

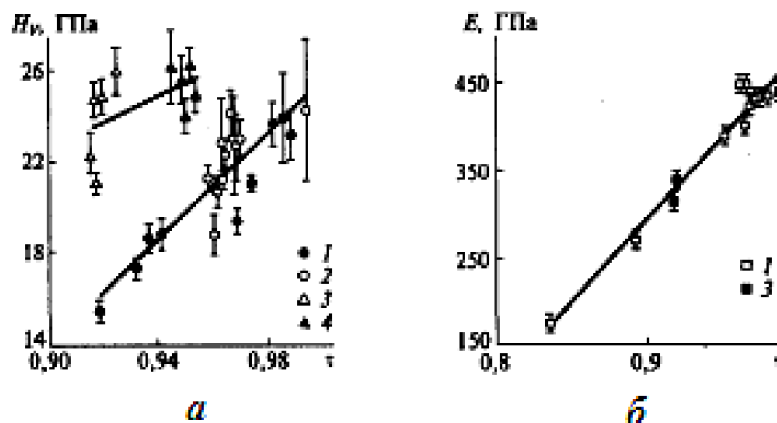
де H_{v0} і E_0 - відповідно твердість по Віккерсу і модуль Юнга для беспористих зразків; a , b - константи.

Самі по собі поверхні розділу (границі зерен) є перешкодами на шляху поширення дислокацій і тріщин, що і зумовлює підвищення міцності і твердості наноматеріалів, якщо немає спотворюючих факторів, подібних представленим на рис. 5.1, в.



в

Рис. 4.5. Вплив розміру зерен на властивості матеріалів: а - залежність твердості (1) і межі міцності (2) залізного компакта від розміру зерен; б - залежність відносного подовження зразка міді (1), срібла (2), паладію (3), сплаву алюмінію з цирконієм (4), алюмінію з титаном (5); в - мікрофотографія залізного компакта, отримана за допомогою скануючого електронного мікроскопа (стрілками показані пори і розриви)



Мал. 4.6. Залежність мікротвердості H_v (а) і модуля Юнга E (б) від відносної щільності τ нанокристалічних зразків TiN, отриманих при високих значеннях тиску і температури з ультрадисперсного порошку TiN з частинками розміром 80 (1), 70 (2), 18 (3), 16 (4) нм

В силу труднощів виготовлення нанокристалічних зразків для випробування на розтяг переважне поширення набули випробування на твердість; для проведення останніх використовують невеликі зразки довільної форми. Для наноструктурних плівок це також широко поширений метод, який останнім часом реалізується з використанням спеціальної апаратури - наноінденторів, які застосовують вельми невеликі навантаження (близько 0,01 Н і менш) і вимірювання в процесі навантаження. Однак, незважаючи на відносну простоту дослідження твердості, завжди потрібно звертати увагу на інтервал використовуваних навантажень, товщину плівок, топографію їх поверхні, залишкові напруги і інші чинники, що впливають на твердість.

У разі багатошарових плівок TiN - NbN і TiN - ZrN, судячи з даних рентгеноструктурного аналізу (РСА), двофазна структура і поверхні розділу зберігаються аж до товщини ~ 10 нм, і твердість продовжує рости, досягаючи значень, близьких до таких для алмаза (рис. 4.6). Ці дані наочно демонструють роль поверхонь розділу як перешкод на шляху поширення дислокацій і тріщин. Збільшення твердості металевих наноматеріалів може

становити 500-600%, для тендітних об'єктів таке збільшення трохи нижче, але теж досить значно - до 200-300%.

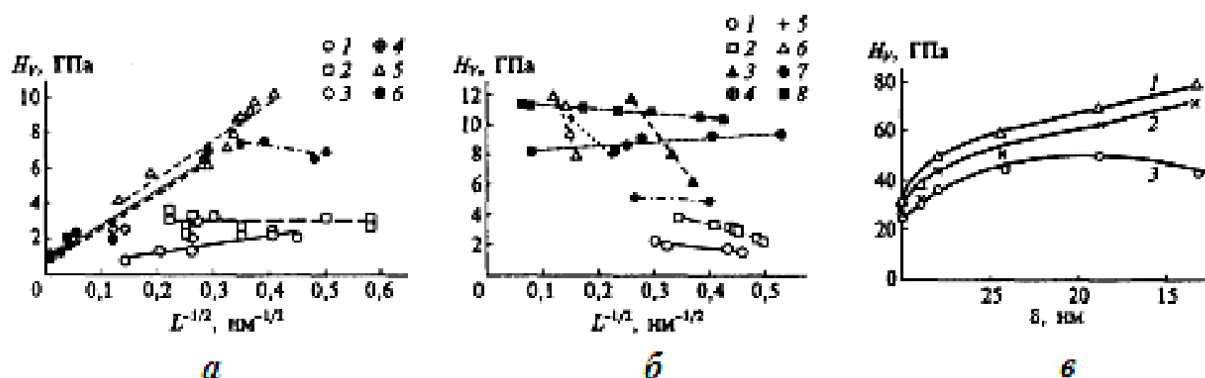


Рис. 4.7. Вплив розміру зерна (а, б) і товщини індивідуальних шарів в багат шарових плівках (в) на твердість матеріалів: а - 1 - Cu, 2 - Pd, 3 - Cu (плівка), 4 - Ni, 5 - Fe, 6 - Ni - P;

б - 1 - Cu, 2 - Pd, 3 - TiAl, 4 - Nb 3 Sn, 5, 6 - Nb 3 Al, 7 - TiAlNb, 8 - Ni - P; в - 1 - TiN - NbN, 2 - TiN - ZrN, 3 - TiN - CrN

Твердість деяких наноматеріалів приведена в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Твердість і розмір зерна деяких наноматеріалів, отриманих методами компактірованія

Склад	Методи отримання	Відносна густина	Розмір зернини, нм	Твкрдість по Вickersу, ГПа
Fe	Тепле пресування	0,94	15	8
Fe – NiN (63 %)	Динамічне пресування	0,92	12	13,5
Ni – TiN (64 %)	Динамічне пресування	0,97	10	13
Ag – MgO (76 %)	Пресування	-	2-50	2,5
Nb ₃ Al	Електророзрядне гаряче пресування	0,97	30	18-22
TiAl	Гаряче ізостатичне	0,99	20	6

	пресування			
TiN	Високий тиск та температура	0,98 – 0,99	30-50	29-31
TiN – TiB ₂ (50 %)	Високий тиск та температура	0,98 – 0,99	-	34
Si ₃ N ₄	Високий тиск та температура	0,99	-	38
SiC	Гаряче ізостатичне пресування	0,97	70	27
BN	Спікання в ударних хвилях	0,96	25	43-80
Алмаз	Динамічне пресування	0,91	-	63-68

Міцність і пластичність наноматеріалів

У тих випадках, коли нанокристалічні зразки мають розміри, достатні для проведення випробувань на розтяг (поздовжній розмір такого зразка повинен набагато перевищувати поперечний розмір, а останній, в свою чергу, повинен істотно перевищувати розмір зерна), можна визначити межу текучості, межу міцності і відносне подовження при одноосьовому розтягуванні. В силу особливостей технології виготовлення наноматеріалів останні дані є переважно лише для металевих зразків, отриманих методами інтенсивної та пластичної деформації і імпульсного електроосадження. У табл. 4.4 міститься інформація про звичайну і електроосадженні нанокристалічної нікелевої стрічки. Переваги в механічних і експлуатаційних характеристиках нанокристалічного нікелю, в порівнянні зі звичайною нікелевою стрічкою, очевидні. Причому звертає на себе увагу те, що якщо для стрічки з розміром зерна близько 100 нм спостерігається цілком прийнятний

рівень пластичності (відносне подовження близько 15%), то для стрічок з зерном близько 10 нм, що відрізняються більш високими показниками міцності і твердості, пластичність практично відсутня .

Таблиця 4.4

Механічні властивості звичайної і наноструктурних нікелевої стрічки при кімнатній температурі (фірма «Ontario Hydro Technologies»)

Характеристика	Великокristалічний зразок	Нанокristалічний зразок	
		L ~ 100 нм	L ~ 10 нм
Границя текучості, МПа	103	690	>900
Границя міцності, МПа	403	1100	>2000
Відносне подовження, %	50	>15	1
Модуль пружності, ГПа	207	214	204
Твердість по Вікерсу, ГПа	1,4	3,0	6,5
Втомленість міцності*, МПа	241	275	-
Знос**, мкм ²	1330	-	7,9
Коефіцієнт тертя**	0,9	-	0,5

*За 10⁸ циклів на повітрі

** На сухому повітрі

Високі показники пластичності для дрібнозернистої міді були реалізовані в результаті наступних технологічних операцій: прокатка при температурі рідкого азоту і освіту мікроструктури з зернами розміром менше 300 нм; короточасний відпал при T = 200 о С, в результаті чого за рахунок аномального росту утворюються кристалітів розміром 2-3 мкм, що займають

по обсягом приблизно 25%. У цих зразків при високих показниках міцності ($\Sigma \text{ в } \approx 200 \text{ МПа}$) відносне подовження до розриву становить приблизно 65%.

На рис. 4.7 показані діаграми напруження - деформація для зразків міді, отриманих при кімнатній температурі методом інтенсивної пластичної деформації при рівноканальній кутовій пресуванні. Вихідна грубозерниста мідь ($L \sim 30 \text{ мкм}$) характеризується низькими показниками міцності і високою пластичністю (крива 1). Звичайна прокатка з 60% -м зменшенням товщини значно збільшує міцність, одночасно істотно знижуючи пластичність (крива 2). Два проходу рівноканального кутового пресування призводять до зростання показників міцності і пластичності, а після 16 проходів (розмір зерна близько 100 нм) збільшується як міцність, так і, що особливо важливо, пластичність.

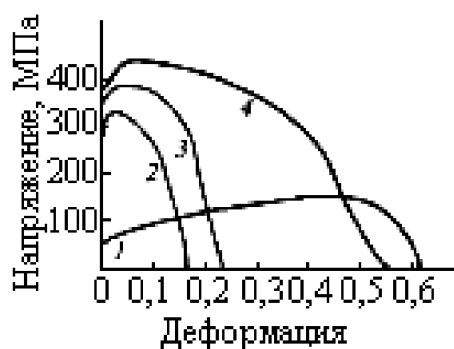


Рис. 4.7. Криві напруга - деформація, отримані при випробуванні мідних зразків: 1 - вихідна грубозерниста мідь; 2 - те ж після холодної прокатки; 3 і 4 - те ж після відповідно 2 і 16 проходів рівноканального кутового пресування

Із загальних міркувань і відомостей про дислокації в наноматеріалах цілком природно зв'язати механічне поведінка з особливостями дислокаційної структури в цих об'єктах. Як зазначалося раніше, починаючи з деяких розмірів, наявність дислокацій в кристаллітах наноматеріалів стає малоймовірним внаслідок виштовхують впливів з боку сил зображення. В силу цього пластична деформація в таких наноструктурах також малоймовірна і руйнування носить крихкий характер, чому сприяє також наявність пір.

Фрактографіческое дослідження деформації наноматеріалів виявило наявність суттєвого інтеркристалітного руйнування, т. Е. Аспространенія тріщин на межі зерен. Характерно також, що перехід від наноструктури до більших зерен супроводжується транскристалітного руйнуванням.

Теоретично механізм деформації наноматеріалів розглядався багатьма дослідниками. Можна, таким чином, коротко підсумувати результати цих робіт:

- початкова стадія деформації наноматеріалів пов'язана з проскальзиванням на кордонах зерен, яке супроводжується генерацією дислокацій від межзеренного кордонів всередину зерен. Ця генерація припиняється при певних розмірах зерна;

- моделювання деформації наноматеріалів методами молекулярної динаміки показало, що пластична деформація реалізується по межах зерен у вигляді великого числа невеликих за розміром зрушень, коли невелике кількість атомів переміщаються один щодо одного. На рис. 5.5 наведені комп'ютерні зображення нанокристалічної міді ($L \approx 5,2$ нм) до і після деформації зі ступенем 10%. Розрахунок був виконаний для системи з 16 зерен, що містить приблизно 10 5 атомів. Помітно розширення межзеренного кордонів; стрілкою показані дві часткові дислокації, рух яких призводить до виникнення дефекту упаковки;

- аналіз ролі потрійних стиків показав, що зародження дислокацій може активно протікати в цих областях за рахунок неузгодженості в результаті пластичних поворотів. Крім того, потрійні стики можуть сприяти пластичної деформації при відсутності помітної дифузійної рухливості.

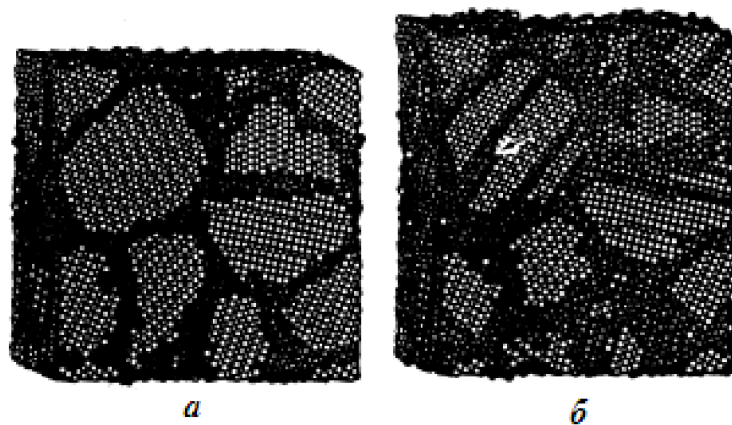


Рис. 4.8. Розрахункова модель структури нанокристалічної міді до (а) і після (б) деформації

Теоретичні дослідження дозволили глибше зрозуміти механізм деформації наноматеріалів, проте пророкування механічної поведінки цих об'єктів якщо і можливо, то в дуже обмеженій мірі.

Раніше вже зазначалося, що значення модуля пружності для наноматеріалів практично не відрізняється від такого щодо звичайних крупнокристаллическим об'єктів. Цей висновок вірно лише для об'єктів, у яких частка поверхонь розділу в загальній наноструктурі не дуже велика.

При розмірі кристалитов ≤ 10 нм (особливо $\leq 4-5$ нм), коли ця частка становить десятки відсотків, значення пружних характеристик має зменшуватися, слідуючи приблизно аддитивному співвідношенню, оскільки, як відомо, модулі пружності аморфних речовин менше, ніж кристалічних.

На перших порах дослідження наноматеріалів великі надії покладалися на можливість підвищення пластичності тендітних матеріалів за рахунок наноструктури. Однак більш детальне вивчення в'язкості руйнування K_{IC} нанокристаллических оксидів, нітридів, боридів та інших об'єктів, що руйнуються без помітної залишкової деформації, не виявило зростання цього параметра зі зменшенням розміру кристалітів. Раніше зазначалося, що руйнування нано-матеріалів в основному носить інтеркристалітний характер, тоб то тріщини поширюються по межзеренного кордонів. Тому довжина тріщин в монокристалах і наноматеріалах мало

відрізняється, і опір їх поширенню мало залежить від розміру нанозерен. І навпаки, результати вимірювання K_{IC} свідчать про те, що в'язкість руйнування навіть знижується зі зменшенням L . Так, для сплаву Fe - Mo - Si - B, отриманого контрольованої кристалізацією з аморфного стану, зміна міцності і в'язкості руйнування в залежності від розміру зерна носить немонотонний характер з максимумом при $L \approx 40-50$ нм. Специфіка зміни K_{IC} для оксидоцірконієвих матеріалів полягає в особливостях перетворення тетрагональної модифікації в моноклинну, що супроводжується зміною обсягу і напруженого стану, коли виникають стискають напруги перешкоджають поширенню тріщин і сприяють підвищенню характеристик тріщиностійкості.

Підвищення K_{IC} можна очікувати для багатофазних нанокомпозитів з нанокристалічної матрицею, коли тріщина буде огинати включення і її протяжність буде помітно перевищувати лінійний маршрут для монокристалів і невелику «зубчатість» для однофазних наноматеріалів. Головна складність полягає в отриманні нанокомпозитів з мінімальною пористістю.

Великий інтерес представляють результати дослідження механічних властивостей тубулярних наноструктур. Для одношарових вуглецевих нанотрубок отримані наступні значення руйнівного напруження і модуля пружності: 30 ГПа і 1000 ГПа відповідно. Однак розкид результатів був досить значним: відповідно 13-52 ГПа і 320-1470 ГПа, що пов'язано як з особливостями методики вимірювань (досліди проводилися з джгутами діаметром 20-40 нм, складеними з нанотрубок діаметром 1,4 нм), так і з можливою структурної нерівномірністю об'єктів. Для багатошарових трубок результати визначень приблизно такі ж (11-63 ГПа і 320-1470 ГПа).

На закінчення ще раз відзначимо деякі особливості механічних властивостей наноматеріалів. По-перше, це багаторівневий характер впливу на міцність і особливо на пластичність не тільки розміру зерна, а й пористості, наявності домішок, прикордонних сегрегації і включень,

текстури, залишкових напружень, природи кордонів і т. д. По-друге, при аналізі розмірних залежностей використання такого поняття, як середній розмір кристалітів, не завжди може дати вичерпну інформацію, і в багатьох випадках слід брати до уваги розподіл зерен за розмірами. Невеликі кількості великих зерен можуть бути досить значними за обсягом і відповідно можуть впливати на ті чи інші властивості наноматеріалів. Нарешті, по-третє, в силу обмеженості числа зразків багато результати здаються недостатньо представницькими і потребують додаткової і незалежній перевірці.

4.4. Матеріали з нано-пористою структурою

Вуглецеві і полімерні наноструктури з просторово-регулярної системою каналів і порожнин призначені як для дифузійного поділу газових сумішей, так і для розміщення та стабілізації наночастинок функціонального призначення (підкладки для каталізу, емітери, датчики та ін.). Технологічні прийоми отримання нанопористих матеріалів досить різноманітні: гідротермальний синтез, золь-гель-процеси, електрохімічні методи, обробка хлором карбідних матеріалів і ін. Різні стільникові структури створюються комбінацією прийомів стандартної літографії (нанесення малюнка майбутньої решітки), лужного травлення, анодного розчинення, окислення - відновлення і т. д.

При обробці полімерів, діелектриків і напівпровідників високоенергетичними іонами утворюються так звані іонні треки нанометрового розміру, які можуть бути використані для створення нанофільтри, нано-шаблонів і т. д.[7].

Розроблений в США нанопористий матеріал MCM-41 з каналами розміром від 2 до 10 нм виходить з розчину (що містить силікати натрію і алюмінію з поверхнево-активними добавками), обробленого в автоклаві (При температурі 150 ° С протягом 48 год) з наступним промиванням, сушінням і обробкою при температурі 540 ° С в азотній і повітряній атмосфері (рис. 4.9).

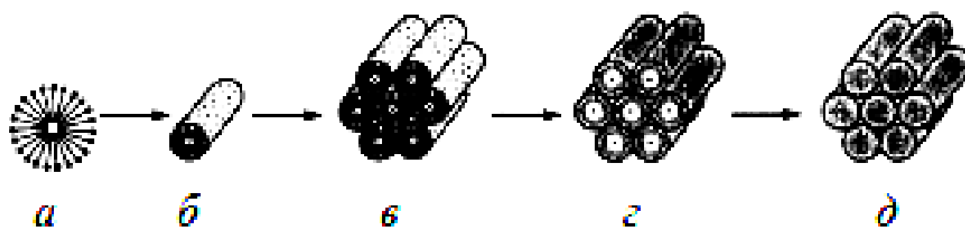


Рис. 4.9. Схема отримання нанопористого матеріалу MCM-41: а - поверхнево-активна міцела ($C_n H_{2n+1} SO_3^-$); б - мицелярний стрижень; в - гексагональна збірка; г - гексагональна силікатна збірка; д - MCM-41 після випалу

Стосовно до нанокомпозитний молекулярним ситам цеоліту типу розрізняють, по крайній мере, два методу отримання таких матричних структур: кристалізація пористого матеріалу з гелю, де присутні наночастинки майбутнього композиту, і синтез наночастинок з прекурсорів, попередньо введених в цеоліти.

Трубочасті наноматеріали

При вивченні опадів, що утворюються при випаровуванні графіту в умовах дугового розряду, було виявлено, що смуги атомних сіток графіту (графені) можуть згортатися в безшовні трубки. Внутрішній діаметр трубок коливається від часток нанометра до декількох нанометрів, а їх довжина - в інтервалі 5-50 мкм.

На рис. 4.10 показана схема лабораторної установки для отримання вуглецевих нанотрубок (УНТ). Графітовий електрод 1 розпорошується в гелієвій плазмі дугового розряду, продукти розпилення у вигляді трубок, фулеренів, кіптяви і т. П. Осідають на поверхні катода 2, а також на бічних стінках охолоджуваного реактора. Найбільший вихід трубок спостерігається при тиску гелію близько 500-600 кПа; параметри дугового режиму, геометричні розміри електродів, тривалість процесу, розміри реакційного простору також мають значний вплив. Після синтезу кінці трубок зазвичай закриті своєрідними «шапочками» (напівсферичними або конічними).

Важливим елементом технології виготовлення нанотрубок є їх

очищення і розкриття решт, що виконується різними методами (окислення, обробка кислотами, обробка ультразвуком і т. д.).

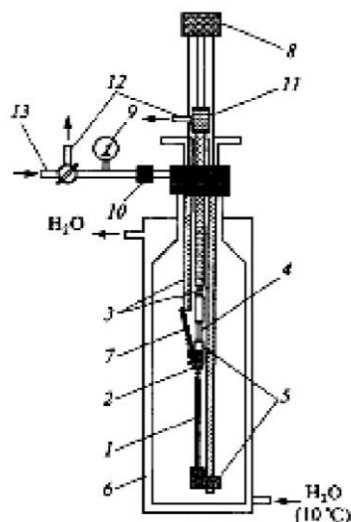


Рис. 4.10. Схема установки для отримання фулеренів і вуглецевих нанотрубок:

1 - графітовий анод; 2 - графітовий катод; 3 - токовводи; 4 - ізолятор; 5 - власники; 6 - охолоджуваний реактор; 7 - мідний пальцік; 8 - електродвигун; 9 - вакуумметр; 10 - фільтр; 11-13 - вакуумні і газові підводи

Для отримання нанотрубок використовують також лазерне розпорошення графіту і піроліз вуглеводнів за участю каталізаторів (метали групи заліза та ін.). Останній метод вважається одним з найперспективніших в плані підвищення продуктивності і розширення структурного розмаїття трубок.

Заповнення внутрішніх порожнин нанотрубок різними металами і з'єднаннями може здійснюватися або в процесі синтезу, або після очищення. У першому випадку добавки можуть вводитися в графітовий електрод; другий метод більш універсальний і може реалізовуватися багатьма прийомами («спрямоване» заповнення з розплавів, розчинів, з газової фази і ін.).

Незабаром після відкриття вуглецевих нанотрубок було виявлено, що властивістю згортання володіє не тільки графіт, а й багато інших з'єднань - нітрид і карбіди бору, халькогеніди, оксиди, галогеніди і різні потрійні сполуки. Останнім часом були отримані і металеві трубки (Au).

Наведена на рис. 4.9 установка має продуктивність кілька грамів нанотрубок за 1 год. Однак цей напрямок розвивається досить стрімко, і очікується розробка більш продуктивних установок.

Полімерні і решітчасті наноматеріали

За допомогою нанопечатної літографії (рис. 4.11) вдається виготовляти полімерні шаблони (темплатів) з отворами діаметром 10 нм і глибиною 60 нм. Отвори утворюють квадратну решітку з кроком 40 нм і призначені для розміщення нанооб'єктів типу вуглецевих нанотрубок, каталізаторів і т. д. Такі шаблони створюються шляхом деформації спеціальними штампами з подальшим реактивним іонним витравлювання полімерних залишків з отворів.

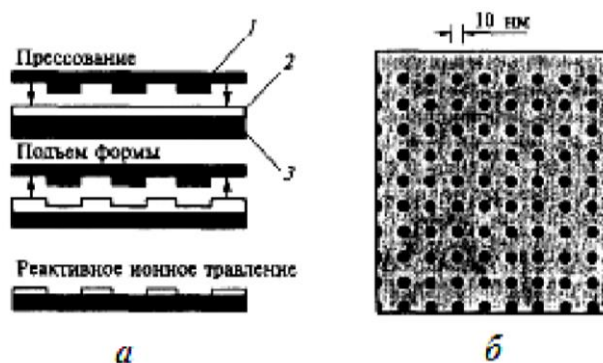


Рис. 4.11. Схема процесу нанопечатної літографії: а - 1 - штамп; 2 - полімерна основа; 3 - підкладка; б - зображення поліметілметакрилатового шаблону з ґратами отворів

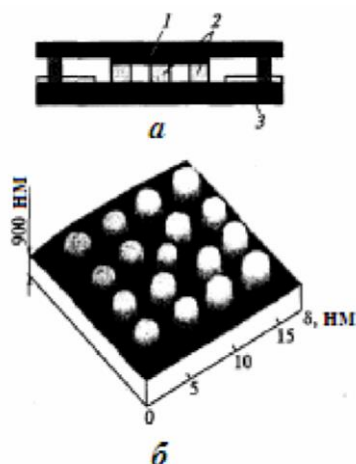


Рис. 4.12. Схема литографічески індукованої самозборки наноструктур: а - 1 - маска; 2 - полімерні стовпи; 3 - кремнієва підкладка; б - зображення матриці стовпів поліметилметакрилата, отримане атомно-силовим мікроскопом

Відомі також прийоми литографічески індукованої самозборки наноструктур. В цьому випадку решітка формується за рахунок утворюється матриці стовпів, що ростуть з полімерного розплаву, що знаходиться на кремнієвій підкладці (рис. 4.12). Цей процес може бути застосований і до інших матеріалів (напівпровідників, металів і біоматеріалів), що важливо для створення запам'ятовуючих пристроїв різних типів.

Конструкційні та інструментальні наноматеріали

Конструкційні машинобудівні наноматеріали загального призначення поки що не отримали достатньо широкого поширення. Стосовно до порошковим консолідованим наноматеріалів це пов'язано як з обмеженістю розмірів і форми порошкових виробів, так і, головним чином, з труднощами збереження наноструктури при їх спіканні. Низька плинність і пресуємость, легка окислюваність і забрудненість, агломеріруемость - все це теж створює труднощі для застосування порошкових наноматеріалів.

Такі недоліки багатьох порошкових та інших наноматеріалів, як незадовільні пластичні властивості і залишкова пористість, до сих пір не подолані. Проте можна відзначити ряд позитивних моментів. Отримано високоміцні ($\sigma_v = 1,4$ ГПа) алюмінієві сплави ($Al_{85}Ni_5Y_8Co_2$) з розпорошених аморфних порошоків шляхом гарячого ($T \approx 400$ о С)

пресування при тиску 1,2 ГПа. У структурі цих сплавів спостерігаються кристалічні наночастинки розміром 30-100 нм, а відносне подовження становить близько 1%. Цирконієві сплави з добавками Al, Ni, Ag, Cu, отримані контрольованої кристалізацією з аморфного стану, також показали високі механічні властивості при випробуванні на розтягування і стиснення з задовільними пластичними властивостями.

Крім того, на прикладі спечених мідних ультрадисперсних порошків, оброблених методом гідростатической екструзії, також була продемонстрована можливість отримання зразків з високою міцністю і достатньою пластичністю.

Безсумнівно, технологія рівноканального кутового пресування, широко що розвивається, перспективна для отримання високоміцних і пластичних металів, сплавів і інтерметаллідів, які можуть знайти застосування не тільки як конструкційні матеріали в машинобудуванні, а й в якості функціональних компонентів, наприклад, в медицині.

В цілому можна відзначити, що характеристики міцності і твердості металевих наноматеріалів вище таких для звичайних матеріалів приблизно в 4-6 разів, але параметри пластичності нижче, і найчастіше металеві наноматеріали поведуться як тендітні матеріали. У зв'язку з цим важливу роль при їх застосуванні грає конструктивне оформлення, яке повинно забезпечувати експлуатацію виробів переважно в умовах стиснення (а не розтягування), що буде ускладнювати поширення тендітних тріщин і підвищувати допустимий рівень руйнівних напружень в кілька разів. Таким чином, є хороші передумови для застосування металевих наноматеріалів в якості конструкційних виробів.

Керметні нанокомпозити на основі Al_2O_3 з добавками Fe і FeCr (розмір кристалитов 40-60 нм) можуть бути виготовлені механохімічним синтезом з подальшим гарячим ізостатичним пресуванням. Ці матеріали, володіючи твердістю 10-15 ГПа і трещиностойкістю 7-9 МПа · м^{0,5}, можуть розглядатися як перспективні для виготовлення деталей вузлів тертя.

Багатофазні оксидні і безоксидні наноккомпозити розглядаються також як перспективні жароміцні матеріали. Евтектичні композити типу $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}) - \text{ZrO}_2$ з розміром зерен менше 100 нм характеризуються високою стабільністю механічних властивостей, температурна міцність наноккомпозитів на основі SiC з різними добавками дозволяє використовувати їх для створення газотурбінної техніки.

Тривають дослідження інших об'ємних наноматеріалів для виявлення областей їх застосування при виготовленні конструкційних елементів різних виробів (наприклад, матеріалів, отриманих обробкою тиском наноструктурних металевих і керамічних заготовок в режимі сверхпластичности).

Умови експлуатації виробів з наноматеріалів в інструментальній промисловості, а також в різноманітних областях загального і спеціального машинобудування припускають в більшості випадків (за винятком ударних і знакозмінних навантажень) схему стискають напруг, тому зниження пластичних характеристик тут допустимо.

Проводяться дослідження в області інструментальних наноматеріалів (Тверді сплави, леговані сталі, чистової інструмент з нанокристалів алмаза, нові надтверді матеріали та ін.). Добавки нанопорошків карбіду вольфраму (5-8%) до стандартних твердих сплавів підвищують однорідність структури і знижують розкид значень міцності.

У зв'язку з високими показниками твердості ($H_V = 22-24$ ГПа) і тріщиностійкості ($\sim 10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) нанокристалічні тверді сплави вважаються також перспективними для виготовлення бурового інструменту, призначеного для глибоководної морської нафтеразведки.

Зразки надтвердих фуллерітов (консолідованих фулеренів C_{60}) отримані компактування при високому тиску (9-13 ГПа) в інтервалі температур 200-1600 °С. Оптимальні значення твердості цих зразків складають 100 ГПа (в окремих випадках до 300 ГПа), а модуль об'ємної пружності перевищував такий для алмазу і становив понад 500 ГПа. Ці

матеріали з унікальними механічними властивостями вже знайшли застосування при виготовленні індентора в пристроях для вимірювання твердості та визначенні трибологічних характеристик твердих матеріалів. Наноструктурні карбідні, нітрідні і боридних плівки (TiC , TiN , TiB_2 , $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$, $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$ і ін.) Вже давно використовуються в багатьох країнах в промисловому масштабі в якості зносостійких покриттів на металообробне інструменті, що підвищує робочий ресурс останнього в кілька разів.

Ефективність покриттів цілком очевидна. Багатошарові нітрідні покриття, технологія виготовлення яких вимагає використання спеціалізованого обладнання (многокатодних установок магнетронного напилення), економічно доцільні, особливо для механічної обробки особливо твердих матеріалів.

Одношарові плівки TiN і $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$ товщиною 1,5-3,5 мкм завдяки високу корозійну і ерозійної стійкості, а також високому опору термічної втоми виявилися перспективними для покриття форм, що використовуються в ливарному виробництві алюмінієвих сплавів.

У промисловості застосовуються нанопорошки (Al_2O_3 - TiO_2 , WC - Co , Cr_3C_2 - Ni і ін.) Для отримання зносостійких покриттів і осстановлення зношених виробів методом газотермічного напилення. Цей метод досить продуктивний: твердість і зносостійкість підвищуються в 1,3-2 рази.

Для аерокосмічних технологій розроблені нові плівкові антифрикційні композиційні наноматеріали на основі TiN/MoS_2 , $\text{TiB}_2/\text{MoS}_2$, $\text{WC}/\text{аморфний вуглець}/\text{WS}_2$. Ці матеріали, одержувані магнетронним розпиленням або лазерним випаровуванням, характеризуються, з одного боку, значною твердістю (близько 10-20 ГПа), що забезпечує високу зносостійкість і низький коефіцієнт тертя (менше 0,1), що обумовлено наявністю в структурі так званих твердих мастил (халькогенідів перехідних металів VI групи Періодичної системи). Розмір фазових включень складає менше 5-10 нм. Такі матеріали можуть стабільно працювати при терті в

різних середовищах (в вакуумі, вологому повітрі, азоті і т. д.) В широкому інтервалі температури.

Добавки частинок і волокон в полімерні матриці - добре відомий прийом підвищення фізико-механічних властивостей полімерів, а також їх теплостійкості. Заміна багатьох металевих матеріалів на полімери, армовані наночастинками, призводить в автомобілебудуванні до зменшення маси автомобіля, зниження споживання бензину і шкідливих викидів.

Іntenсивно вивчаються фізико-механічні властивості нанокомпозитів, містять добавки нанокристалів алмаза і вуглецевих нанотрубок. Отримані дані свідчать про можливість підвищення міцності і особливо зносостійкості. У табл. 4.5 наведені порівняльні дані про властивості політетрафторетилену, наповненого технічним вуглецем і нанокристалічним алмазом. Переваги введення алмазу для підвищення триботехнічних властивостей очевидні.

В конструкційних і теплоізоляційних матеріалах різко зростає питома вага композитів, в тому числі і вуглепластиків. модифікація міжфазних кордонів в композитних матеріалах на полімерній основі підвищує їх фізікомеханічних і теплофізичні властивості. Це дає можливість створення легких пожежобезпечних та інших теплоізоляційних матеріалів для судів,

Таблиця 4.5

Характеристики політетрафторетилену з добавками технічного вуглецю і нанокристалічного алмазу

Наповнювач	Модуль пружності при стисканні, МПа	Коефіцієнт тертя	Відносне зношування
Відсутній	4,2	0,21	1
Технічний вуглець (20%)	11,5	0,32	25
Наноеристалічний алмаз (5%)	4,5	0,21	70

Рухомого складу електротранспорту, а також створення нових, полегшених охолоджуючих конструкцій в будівництві. Роботи по формуванню нових будівельних матеріалів з використанням нанотрубок в даний час тільки починаються. Створюються нові композиційні матеріали на основі металів і сплавів, модифікованих нанотрубками для комплексного вирішення проблем підвищення зносостійкості, міцності і тріщиностійкості елементів, які використовуються в машинобудуванні, в тому числі для підвищення надійності систем струмознімання для електротранспорту.

Розділ 5. Розробка рекомендацій по створенню нових конструкцій ЗМ і попередні дослідження

5.1 Запропонована конструкція синтезованого високошвидкісного ЗМ

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення шпиндельного вузла верстата шляхом встановлення замість приводу затиску генератора з можливістю передачі електричного струму затискному патрону, виконаного з двох частин нано-структурного матеріалу, ізолюваного між собою і шпинделем, що дозволяє досягнути технічний результат – спрощення конструкції при поліпшенні динамічних характеристик і підвищенні продуктивності і якості обробки[1].

Поставлена задача вирішується тим, що в шпиндельному вузлі верстата, який містить корпус, ротор та статор, шпиндель з затискним патроном привод головного руху шпинделя, розташований всередині корпусу з можливістю передачі крутного моменту за допомогою електромагнітного поля, привід затиску, розташований співісно з шпинделем і затискним патроном, згідно корисної моделі, привід затиску змінений на генератор з можливістю передачі електричного струму затискному патрону, виконаного з двох частин нано-структурного матеріалу, наприклад, титану, причому ці частини ізолювані між собою і шпинделем. При цьому отримання електричного струму, що необхідний для затиску інструмента між двома ізолюваними, між собою і корпусом, частинами затискного механізму береться з генератора. Це і дозволяє отримати бажаний технічний результат.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, де: на фіг.1 зображений повздовжній переріз шпиндельного вузла; на фіг.2 показано поперечний переріз патрону в розтиснутому стані без подачі струму на його частини; на фіг.3 поперечний переріз патрону в затиснутому стані при подачі струму на його частини.

Шпindelний вузол складається з шпінделя 1(фіг.1), розташованого на опорах 2 і 3 у вигляді радіально-упорних шарикопідшипників, що встановлені в корпус 4.

На шпінделі 1 розташований ротор 5 головного руху, а в корпусі 4 статор 6, між якими, при подачі електричного струму на обмотки статора 6, виникає електромагнітна взаємодія у вигляді крутного моменту. Передній кінець корпусу 4 закритий фланцем 7. Задня опора 2 розташована в фланці 8, який закриває задній кінець корпусу 4, до фланця 8 кріпиться ущільнення 9 яке разом з кришкою 10, яка слугує для закриття кріпиться до корпусу 4. На шпінделі 1 поза ротором 5 розташований генератор 11, який по струм провідному каналу 12, з'єднаний з блоком керування 13, за допомогою каналів 14 та 15 відбувається передавання електричного заряду до затискного механізму 16, який виконаний з двох частин, що ізолювані між собою та шпінделем 1 діалектиком 17, для затиску інструменту 18. Частин затискного механізму 16 розділенні між собою діалектиком 19 та закриті кришкою 20.

Шпindelний вузол працює наступним чином. При нерухомому шпінделі 1 затискний механізм знаходиться в спокої, після подачі струму на обмотки ротора 6 виникає електромагнітне поле, яке взаємодіє з обмотками статора 1 і призводить до появи крутного моменту, при цьому в генераторі 11, який розташований на валу шпінделя 1, виникає напруга згідно законів електромагнітної індукції виникає електричний струм який передається по струм проводу 12 на блок керування, де він змінюється на одно полярний заряд, потім по струм проводу 14 і 15 одно полярний заряд передається затискному механізму 16, в спокійному стані між інструментом 18 і затискним механізмом 16 є певний проміжок Δ , після надходження і за рахунок відштовхування одно полярних зарядів між собою відбувається пластична деформація яка призводить до затиску інструмента 18.

Розтиск відбувається після припинення подачі струму на обмотки ротора 6, що призводить до зникання струму на генераторі 11 і живлення затискного механізму 16 та появи між ним і інструментом проміжку Δ .

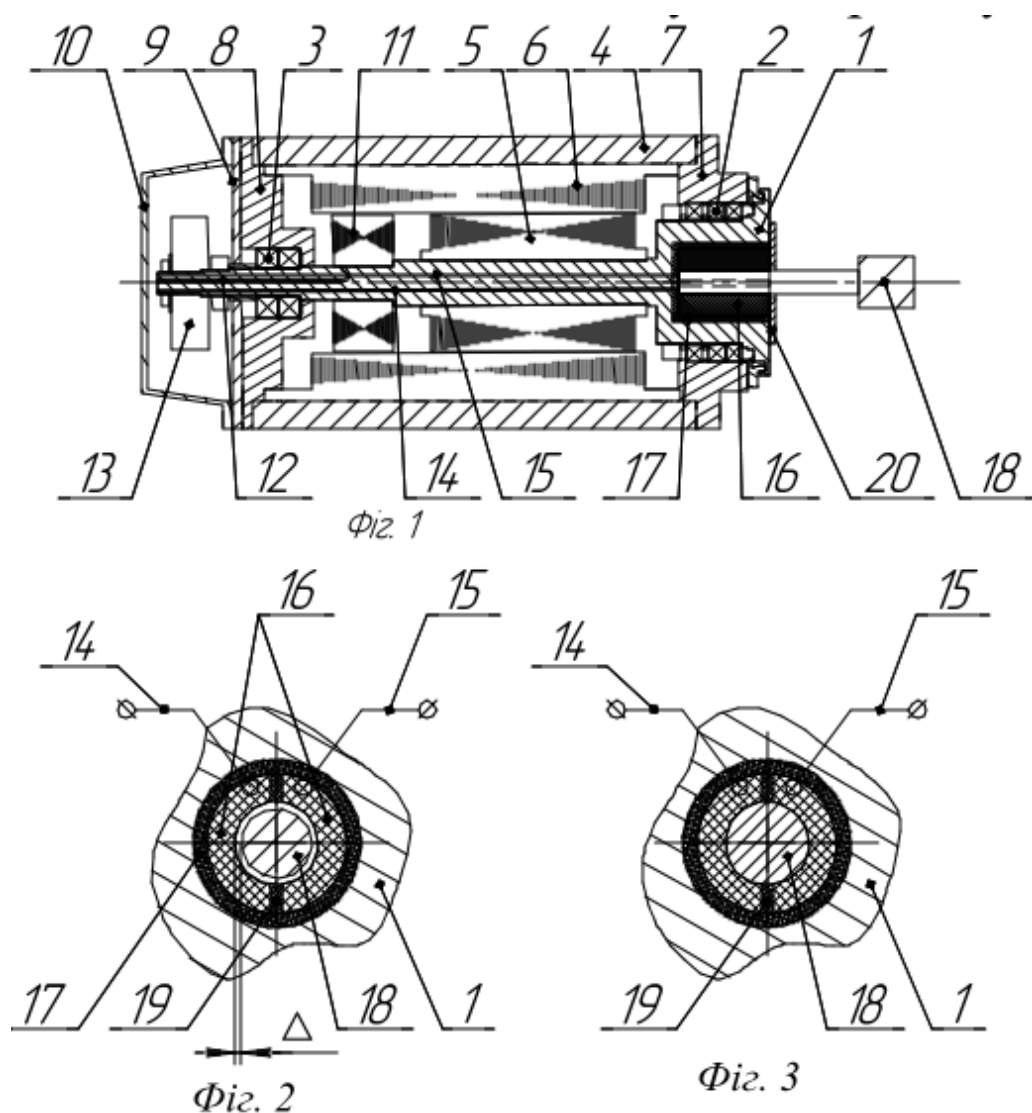


Рис.5.1 Шпиндельний вузол з синтезованим високошвидкісним ЗМ з використанням нано-структурного матеріалу заявка на Патент України №u2018 03835

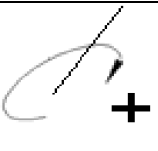
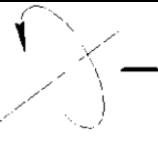
5.2 Теоретичні дослідження слових характеристик синтезованого ЗМ з використанням солового потоку

Виконані патентно-інформаційні дослідження і аналіз джерел показали, що в практиці проектування ЗМ [2-19] з усієї кількості силових потоків з які можна отримати при морфологічному синтезі можна занести в таблицю 5.1 і обрати найбільш підходящий із можливої множини варіантів. Для синтезованого зразку найбільш раціональним вибором буде силовий потік F_{r1} – F_{r2} .

Таблиця 5.1

Класифікація енергетичних (силових) потоків (Породжуюча система)
 обертowego 3М одинарного затиску в циліндричній системі координат

Від джерела енергії		Вид підсилення	Вихід до об'єкту затиску					
			Напрямок	Вихідне зусилля F2				
				Осьове F _{a2}		Осьове F _{r2}		
Вхід	Вхідне зусилля F ₂	Осьове F _{a1}		F _{a1} - F _{a2}	F _{a1} - <u>F_{a2}</u>	F _{a1} - F _{r2}	F _{a1} - <u>F_{r2}</u>	
				<u>F_{a1}</u> - F _{a2}	<u>F_{a1}</u> - <u>F_{a2}</u>	<u>F_{a1}</u> - F _{r2}	<u>F_{a1}</u> - <u>F_{r2}</u>	
		Радіальне F _{r1}		F _{r1} - F _{a2}	F _{r1} - <u>F_{a2}</u>	<u>F_{r1}</u> - F _{r2}	<u>F_{a1}</u> - <u>F_{r2}</u>	
				<u>F_{r1}</u> - F _{a2}	<u>F_{r1}</u> - <u>F_{a2}</u>	F _{r1} - F _{r2}	F _{r1} - <u>F_{r2}</u>	
		Тангенціальне		F _{τ1} - F _{a2}	F _{τ1} - <u>F_{a2}</u>	F _{τ1} - F _{r2}	F _{τ1} - <u>F_{r2}</u>	
				<u>F_{τ1}</u> - F _{a2}	<u>F_{τ1}</u> - <u>F_{a2}</u>	<u>F_{τ1}</u> - F _{r2}	<u>F_{τ1}</u> - <u>F_{r2}</u>	
	Вхідний момент M ₁	Довколо осі		M _{a1} - F _{a2}	M _{a1} - <u>F_{a2}</u>	M _{a1} - F _{r2}	M _{a1} - <u>F_{r2}</u>	
				<u>M_{a1}</u> - F _{a2}	M _{a1} - <u>F_{a2}</u>	M _{a1} - F _{r2}	M _{a1} - <u>F_{r2}</u>	
		Довколо		<u>M_{a1}</u> - F _{a2}	M _{a1} - <u>F_{a2}</u>	<u>M_{a1}</u> - F _{r2}	<u>M_{a1}</u> - <u>F_{r2}</u>	
				M _{r1} - F _{a2}	M _{r1} - <u>F_{a2}</u>	<u>M_{r1}</u> - F _{r2}	<u>M_{r1}</u> - <u>F_{r2}</u>	

		В площині осі		$M_{\tau 1} - F_{a2}$	$M_{\tau 1} - \underline{F}_{a2}$	$M_{\tau 1} - F_{r2}$	$M_{\tau 1} - \underline{F}_{r2}$
				$\underline{M}_{t1} - F_{a2}$	$\underline{M}_{t1} - \underline{F}_{a2}$	$\underline{M}_{t1} - F_{r2}$	$\underline{M}_{t1} - \underline{F}_{r2}$
Принцип затиску				Торцевий		Радіальний	

Оскільки основними об'єктами дослідження є ЗМ для тіл обертання, конструктивно вписані в шпиндельний вузол для затиску заготовки (токарні, шліфувальні, зубообробні верстати) або для затиску інструменту (свердлильно-фрезерні та багатоцільові верстати), доцільно застосовувати Декартову систему координат.

Таким чином замість позначення сили F_x вздовж осі обертання (по осі X) вводимо позначення F_a , замість сил F_y і F_z в площині YOZ, перпендикулярній осі обертання, вводимо позначення радіальної F_r і тангенціальною F_t сили, відповідно замість моментів M_x , M_y , M_z навколо осей X, Y, Z позначимо їх як моменти осьової M_a , радіальний M і тангенціальний M_t .

Будь який енергетичний (силовий) потік в ЗМ може здійснюватися з допомогою механічних кінематичних ланцюгів, електромагнітних, магнітних та ін. полів, що виключають кінематичні ланцюги.

При наявності механічних кінематичних ланцюгів силовий потік може характеризуватися такими трьома характеристиками [20-22, 14]:

- 1) коефіцієнтом посилення K у, як відношення вихідної сили затиску F_2 до вхідний навантаженні (силі F_1 або моменту M_1);
- 2) передавальним відношенням U, як відношення швидкості (переміщення) ЗЕ на виході до швидкості (переміщенню) на вході від джерела енергії (ІЕ) або приводу затиску (ПРЗ);
- 3) коефіцієнтом корисної дії η , як відношення витрачається енергії до корисної енергії затиску.

При відсутності кінематичних ланцюгів силовий потік характеризується

тільки К.К.Д. При наявності механічних кінематичних ланцюгів і інших полів, використовуються всі характеристики, але з урахуванням ділянок силового потоку при послідовній, паралельно-послідовної і паралельної передачі енергії.

На об'єктному рівні для замикання силового потоку в якості хромосоми-спадкоємця використовується елементарний силовий контур ЗП, який може бути замкнутим (відкритим і закритим) [11] в площині, перпендикулярній осі обертання Х шпинделя (ЗП, ОЗ) (рис.5.2) при затиску зовні (рис.5.2, а), зсередини (рис.5.2, б), торцевому уздовж осі обертання (рис.5.2, в) і комбінованому об'ємному (рис.5.2, г).

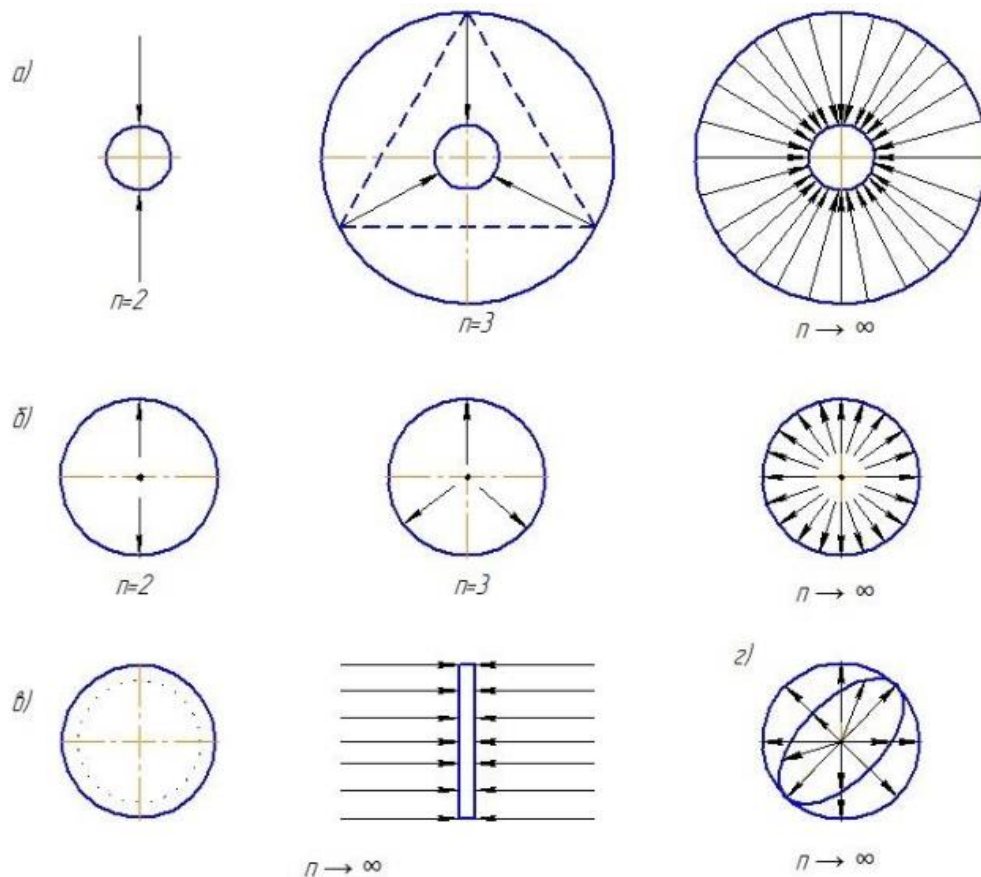


Рис.5.2. Силві контури з різним замиканням сил

5.3. Теоретичні дослідження ЗМ з використанням силових потоків

Розглянемо ЗМ з силовим потоком $F_{r1} - F_{r2}$ в циліндричній системі координат з цільним пружним у вигляді циліндричної втулки (рис. 5.1), для спрощення проведення дослідження на початковому рівні представимо синтезований ЗМ у вигляді циліндричної втулки та використання обраного силового потоку $F_{r1} - F_{r2}$. Для цього можна спростити схему затиску і зобразити солові потоки, об'єкт затиску (ОЗ) та затискний елемент (ЗЕ).

Під час[23] обертання затискного патрона з затиснутим інструментом виникає відцентрова сила, яка призводить до зменшення контактного тиску в зоні затиску. Величину зменшення тиску p_{ω} в зоні контакту можна знайти з умови рівності радіальних переміщень хвостовика інструменту u_i і циліндричної частини патрона u_n (рис. 5.3):

$$u_i = u_n, \quad (5.1)$$

Радіальні переміщення циліндричної частини патрона і інструменту в зоні контакту визначаються за залежностями [23]:

$$u_n = A_1 r + \frac{B_1}{r} - \frac{1-\mu^2}{8E} * \frac{\gamma}{g} \omega^2 r^3, \quad (5.2)$$

$$u_i = C_1 r - \frac{1-\mu^2}{8E} * \frac{\gamma}{g} \omega^2 r^3, \quad (5.3)$$

де γ - щільність матеріалу оправлення і інструменту; g - прискорення вільного падіння; ω - кутова швидкість; $A_1 = A(1-\mu)/E$, $B_1 = -B(1+\mu)/E$, $C_1 = C(1-\mu)/E$ – постійні інтегрування, які визначаються з граничних умов.

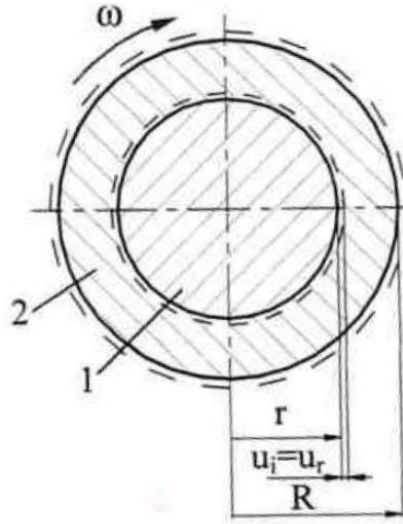


Рис. 5.3. Переміщення, що виникають в зоні контакту при обертанні

Підставивши (5.2), (5.3) в залежність (5.1) і здійснивши перетворення отримаємо:

$$(1 - \mu)A - (1 - \mu)B \frac{1}{r^2} = (1 - \mu)C, \quad (5.4)$$

З залежностей для визначення радіальних напружень постійні інтегрування, матимуть вигляд:

$$A = \frac{r^2}{R^2 - r^2} p\omega + \frac{3 - \mu}{8} * \frac{\gamma}{g} \omega^2 (R^2 - r^2), \quad (5.5)$$

$$B = \frac{r^2 R^2}{R^2 - r^2} p\omega - \frac{3 + \mu}{8} * \frac{\gamma}{g} \omega^2 R^2 r^2, \quad (5.6)$$

Для хвостовика інструменту радіальні напруги на його зовнішньому контурі $(\sigma_r)_{\rho=R} = -p_\omega$. Тоді постійна інтегрування матиме вигляд:

$$C = p_\omega + \frac{3 + \mu}{8} * \frac{\gamma}{g} \omega^2 r^2, \quad (5.7)$$

Підставивши отримані залежності (5.5), (5.6) в (5.7) отримаємо залежність для визначення втрати тиску в зоні контакту хвостовика інструменту з затискним патроном

$$p_\omega = \frac{3 + \mu}{8} * \frac{\gamma}{g} \omega^2 r^2 (1 - k^2), \quad (5.8)$$

Сумарне тиск в зоні контакту хвостовика інструменту циліндричної частини затискного патрона в процесі його усталеного обертання при вираженні R через k і d :

$$p_{\Sigma}(\omega) = p - p_{\omega} = \frac{1-k^2}{2} \left(\frac{\delta E}{d} - \frac{3+\mu}{16\mu} * \frac{\gamma}{g} \omega^2 \frac{d^2}{k^2} \right), \quad (5.9)$$

Критична частота обертання, при якій відбувається разжим інструменту під дією відцентрових сил, визначиться з умови $p_{\Sigma}(\omega) = 0$. Виразивши критичну частоту обертання через критичну кутову швидкість із залежності (5.9), отримаємо:

$$n_{кр} = \frac{120k}{\pi} = \sqrt{\frac{\delta E \mu g}{(3+\mu) \gamma d^3}}, \quad (5.10)$$

Максимальний крутний момент, що передається затискним патроном в процесі обертання, визначиться за сумарним тиску в зоні контакту:

$$M_{max}(\omega) = \frac{f \pi d^2 h}{2} p_{\Sigma}(\omega), \quad (5.11)$$

Отримані за залежністю (4.11) значення критичних частот обертання для затискних патронів чотирьох розмірів при двох величинах натягу наведені на рис. 5.4.

Як видно із залежності (5.11) і рис. 5.4 збільшення натягу до збільшення критичної частоти обертання. Максимальний натяг визначається з умови відсутності упругопластических деформацій.

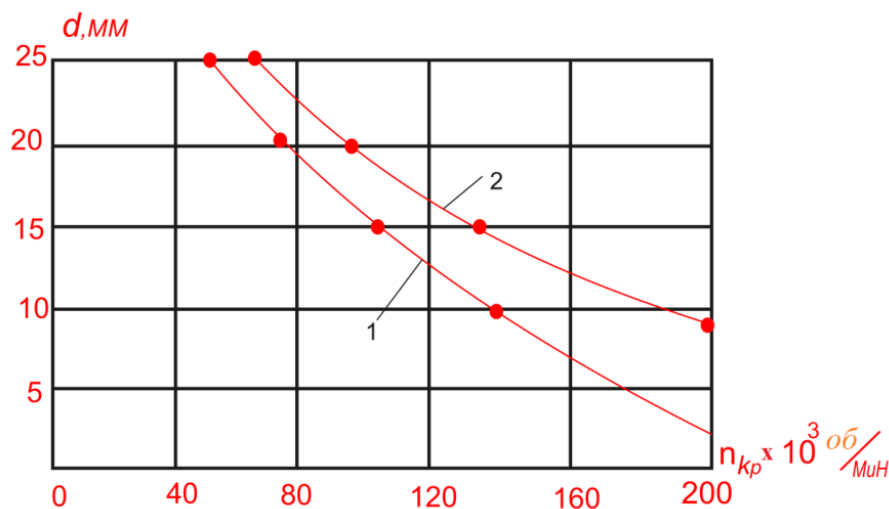


Рис.5.4. Графіки залежності діаметра хвостовика інструменту від критичної частоти обертання, при натягах $\epsilon = 0,006$ мм (крива 1) і $\epsilon = 0,01$ мм (крива 2)

Величина максимального допускаемого натягу, при якому ще відсутня пластична деформація визначається за залежністю [23]

$$[\delta_{max}] = 0.58 \sigma_{T2} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right) \right] * d \frac{C_2}{E_2} * (\gamma_{KE} + \gamma_{\phi} + \gamma_t), \quad (5.12)$$

де σ_{T2} - межа текучості матеріалу патрона; D - зовнішній діаметр патрона; γ_{ϕ} - поправка, що враховує зминання шорсткостей контактних поверхонь при первинному закріпленні [23]; γ_{KE} - коефіцієнт, що враховує зростання тиску в торці патрона (крайовий ефект) [23, 24, 22]; γ_t - поправка, що враховує відмінність робочої температури і температури патрона [21]; $C_2 = 1 + \left(\frac{d}{D} \right)^2 / \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]$.

Користуючись побудованими по залежності (5.12) динамічними силовими характеристиками інструментальних патронів з теплової посадкою інструменту різних типорозмірів (рис. 5.5), можна знайти необхідні значення крутних моментів, що передаються інструменту в статиці і при різних частотах обертання [8, 9]. Крім того, вони дозволяють встановити, виходячи з вимог безпечної роботи, допустимі частоти обертання патронів з термозажимом різних розмірів.

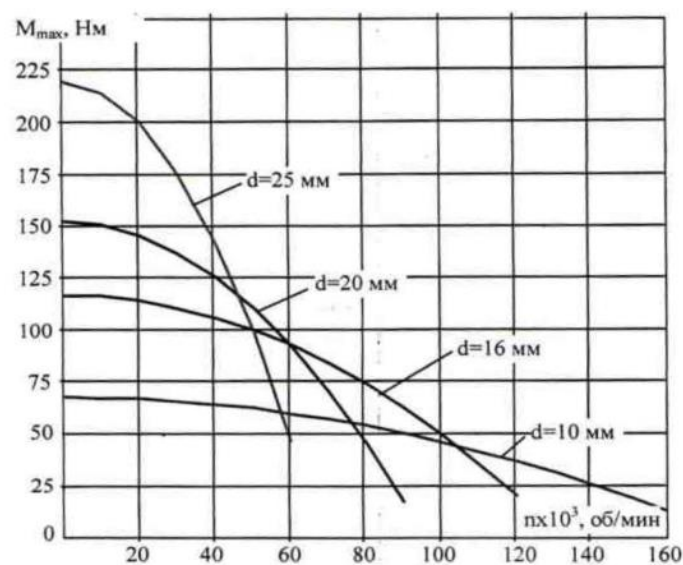


Рис.5.5. Динамічні характеристики інструментальних затискних патронів

У ЗМ з цільним пружним ЗЕ у вигляді пустотілого циліндра обмежений діапазон розмірів (діаметрів) ОЗ, що відповідає І схемою охоплення.

Це пояснюється невеликими радіальними суженнями внутрішнього діаметра ЗЕ згідно завданню Ляме і вимагає високого тиску.

При цьому статичний коефіцієнт посилення істотно залежить від радіального зазору Δ і співвідношення жорсткості з боку патрона ЗП і інструменту ЗІ (рис. 5.6).

Статичний коефіцієнт посилення:

$$k_{\text{ПС}} = \frac{F_{r2}}{F_{r1}}, \quad (5.13)$$

де F_{r2} - вихідна радіальна сила затиску інструменту, пропорційна контактному зближенню ЗЕ та ОЗ і рівна F_{r1}^2 ; F_{r1} - вхідна сила пружності ЗЕ, що витрачається на вибірку зазору Δ ($F_{r1}^1 = C_{\text{ЗЕ}} * \Delta$) і натяг системи δ_K ($F_{r1}^2 = C_{\text{ЗЕ-І}}^K * \delta_K$); $C_{\text{зе}}$ - жорсткість ЗЕ; $C_{\text{ЗЕ-І}}^K$ - наведена контактна жорсткість в сполученні ЗЕ та ОЗ (інструмент), що дорівнює,

$$C_{\text{ЗЕ-І}}^K = \frac{C_{\text{ЗЕ}}^K * C_{\text{І}}^K}{C_{\text{ЗЕ}}^K + C_{\text{І}}^K}, \quad (5.14)$$

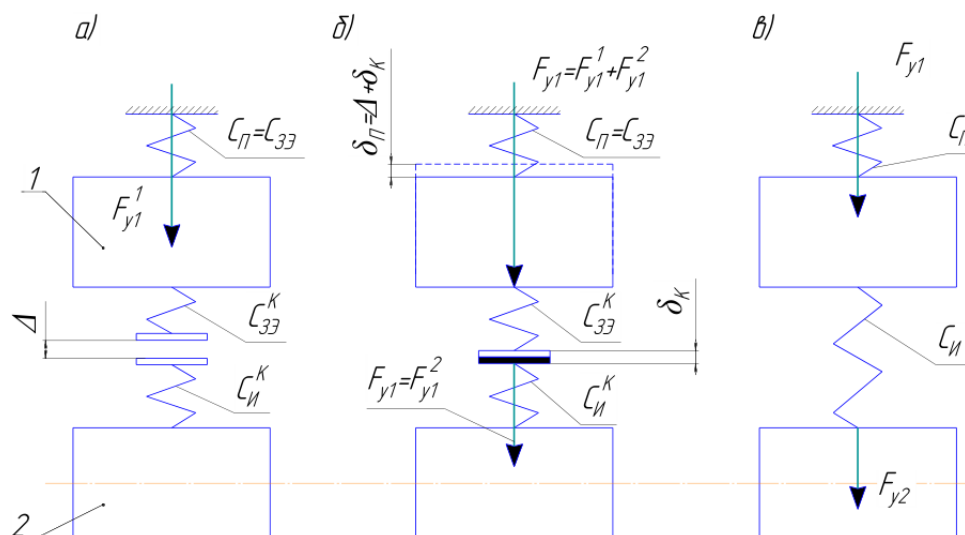


Рис.5.6. Схеми (моделі) взаємодії ЗЕ та ОЗ: а - до вибірки зазору; б - в процесі вибірки зазору; в - після вибірки зазору

Підставивши значення сил в формулу (5.12), отримаємо:

$$K_{\text{ПС}} = \frac{F_{r1}^2}{F_{r1}^1 - F_{r1}^2} = \frac{1}{\frac{F_{r1}^1}{F_{r1}^2} + 1}, \quad (5.15)$$

Виразивши сили через жорсткості, формула перетвориться

$$k_{\text{ПС}} = \frac{1}{\frac{C_{3Э} \cdot \Delta}{C_{3Э-И}^K} + 1} = \frac{1}{\frac{C_{3Э} \cdot (C_{3Э}^K + C_{И}^K) \Delta}{C_{3Э}^K \cdot C_{И}^K \cdot \delta_K} + 1}. \quad (5.16)$$

Якщо прирівняти $C_{3Э}^K = C_I^K = C_I$, то отримаємо наступний вираз

$$k_{\text{ПС}} = \frac{1}{2 \cdot \alpha_C \cdot \frac{\Delta}{\delta_K} + 1}, \quad (5.17)$$

Проаналізуємо три випадки: 1)

$$C_{3Э} < C_I a_C = \frac{C_{3Э}}{C_I} < 1; 2) C_{3Э} = C_I a_C = \frac{C_{3Э}}{C_I} = 1; 3) C_{3Э} > C_I a_C = \frac{C_{3Э}}{C_I} > 1.$$

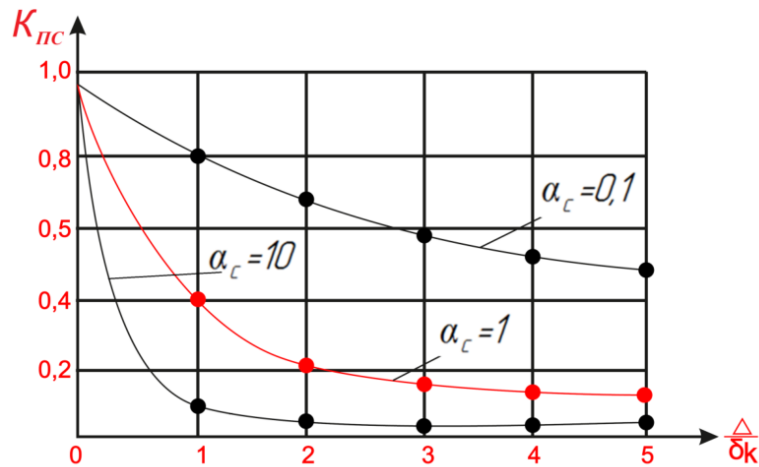


Рис.5.7. Графіки залежності статичного коефіцієнта посилення від $\frac{\Delta}{\delta_K}$ для різних співвідношень a_C

Вплив різних випадків на статичний коефіцієнт посилення при різних співвідношеннях $\frac{\Delta}{\delta_K}$ представлено на рис. 5.7. при обертанні виникає відцентрова сила F_ω , що діє на ЗЕ, роздуваючи його на величину $\delta = \frac{F_\omega}{C_{3Э}}$ (рис. 4.8) і знімаючи натяг в контакті ЗЕ з ОЗ (інструментом) на таку ж величину $\delta = \frac{\Delta F_{y2\omega}}{C_I}$, то зменшує вихідну радіальну силу затиску на величину $\Delta F_{y2\omega} = \delta * C_I$.

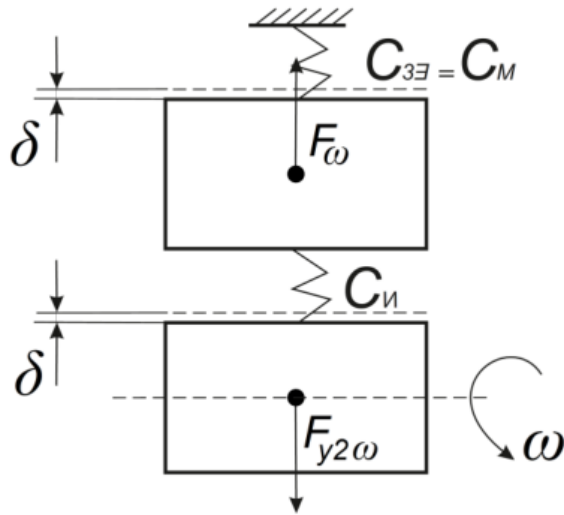


Рис. 5.8. Модель взаємодії 3Е з ОЗ при обертанні

Таким чином, вихідна динамічна радіальна сила затиску буде

$$F_{y2\omega} = F_{y2} - \Delta F_{y2\omega} = F_{y2} - F_{\omega} \frac{C_1}{C_{3E}}, \quad (5.18),$$

або

$$F_{y2\omega} = F_{y2} - a_c * F_{\omega}, \quad (5.19)$$

Характер впливу частоти обертання $\omega(n)$ при різних співвідношеннях показані на рис.5.9.

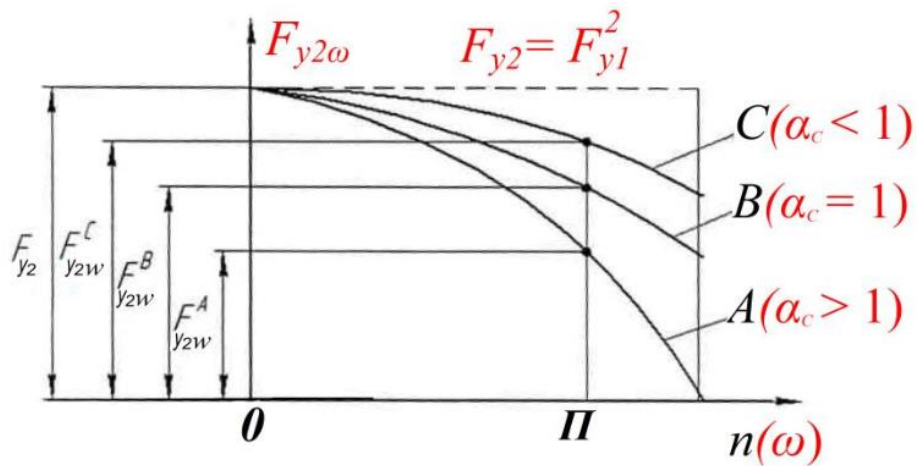


Рис.5.9. Графіки залежності динамічної радіальної сили затиску інструменту від частоти обертання шпинделя

Динамічний коефіцієнт посилення

$$K_{\Pi\omega} = \frac{F_{y2}\omega}{F_{y2}^1 + F_{y1}^2} = \frac{1 - a_C \frac{F\omega}{F_{y1}^2}}{1 + \frac{\Delta}{\delta}}, \quad (5.20)$$

5.4 Напрямки подальших досліджень

Беручи до уваги стрімкий розвиток ноно-структурних матеріалів, кількість проведених досліджень та тенденції використання розроблених на їх основі систем, виробім, матеріалів доцільно і в подальших роботах проводити дослідження по використанню в верстатобудуванні деталей, механізмів, і систем з використанням нано-пористих матеріалів.

Подальший розвиток наукової роботи буде присвячений створенню робочого прототипу шпиндельного вузла. Для досягнення цього на сьогоднішній день є всі необхідні для цього умови та технології, потрібно буде провести розрахунки робочих елементів шпиндельного вузла, розрахунок струмопровідних каналів, роботи генератора електричного струму в суцільному корпусі статора і узгодження виникнення електромагнітних ефектів при роботі генератора та статора як один механізм. Розробити схему управління шпиндельним вузлом, обрати всі необхідні елементи системи управління та розрахувати їх параметри для узгодженої роботи в системі в цілому. Описати теоретично і довести це практично як модель робочого шпиндельного вузла з незалежним автоматичним затискним механізмом.

Дослідження в області синтезу затискних механізмів з використанням нано-структурних матеріалів, буде присвячене запропонованою конструкції з використанням пластично – деформаційного затиску. Опис такого процесу затиску, приведення конструкцій нових затискних механізмів які відповідатимуть цьому процесу. Проведення більш детального дослідження використання в затискних механізмах нано-пористих матеріалів, за можливістю проведення математичного опису процесів які відбуватимуться структурі самого матеріалу під час затиску, проведення моделювання як

основного (не можливого зараз у зв'язку з тим, що в САПР відсутні поняття нано-пористих матеріалів) етапу підтвердження працездатності конструкції.

Після проведення розрахунків і математичного моделювання, та морфологічних синтезів запропонувати нові конструкції затискних механізмів та шпиндельних вузлів для компоновки верстатів автоматів нового покоління створених на гібридній основі та з використанням SMART-компоновок, що приведе до створення більш автоматичної обробки без використання механічних передач а лише електромеханічні, що позитивно вплине на підвищення продуктивності та обслуговування таких верстатів.

Основні висновки

Основний науковий результат дисертаційної роботи полягає в створенні на основі проведеного морфологічного синтезу і теоретичному підтвердженні працездатності високошвидкісного та високоточного ЗМ з використанням нано-структурних матеріалів, що призвело до конструктивних змін в шпиндельному вузлі з усуненням приводу затиску.

1) Вперше запропоновано і представлено комбінаторним кодом ЗМ-10011 ідею високошвидкісного високоточного ЗМ з використанням нано-структурних матеріалів, що призвела до покращення його параметрів працездатності.

2) Проведенні теоретичні дослідження по працездатності запропонованої конструкції з використанням енергетичних (силових) потоків.

3) Доведено, що основу структуроутворення синтезованого ЗМ визначає силовий (енергетичний) потік на хромосомному рівні $F_{r1} - F_{r2}$, який може бути реалізований з використанням різних фізико-хімічних ефектів,

4) Проведенні дослідження в структурі, матеріалах, будові та методах отримання нано-структурних матеріалів.

6) Запропоновано використання деталей, механізмів створених на основі нано-матеріалів для подальшого використання їх в верстатобудуванні.

7) Виконаний патентно-інформаційний пошук, який показав перспективність і актуальність проведених досліджень в даній галузі.

Література

до розділу №1

1. Интернет ресурс - <https://industry4-0-ukraine.com.ua>
2. Карасов И.Б. О закономерностях автоколебаний при резании металлов. – В сб.: Исследование и оптимизация процессов механической обработки при автоматизации технологического проектирования. – Владивосток: Изд-во ДВГУ, с.88-95.
3. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. – Л.: Машиностроение, 1986. – 184с.
4. Жарков И.Г. Уровень интенсивности автоколебаний в упругой системе СПИД как критерий оптимальности технологического процесса. – В сб.: Повышение устойчивости и динамического качества металлорежущих станков. – Куйбышев: КПТИ, 1977, с.11-17.
5. Ильницкий И.И. Колебания в металлорежущих станках и пути их устранения. – М.-Свердловск: Машгиз, 1958. – 144с.
6. Каширин А.И. Вопросы устойчивости рабочего движения при обработке металла резанием. – В сб.: Исследование колебаний металлорежущих станков при резании металлов. – М.: Машгиз, 1958.
7. Кенансариев К.С. Автоколебания при резании на станке-автомате продольного точения. - Изв. вузов. Машиностроение, 1982, №4, с.128-131.
8. Ковалев В.Д. Адаптивное управление параметрами технологической системы для обеспечения точности обработки//Высокие технологии в машиностроении.-Харьков:ХГПУ.-1997.-С.119-120.
9. Коганов И.А., Дорохин Н.Б., Шпаков В.В. Установка для многосуппортной токарной обработки. – В кн.: Тр. препод. и слушателей Тульского гор. ун-та научно-технических знаний, вып. 26. Исследования в области совершенствования методов механической обработки и сборки. – Тула: ТПИ, 1974, с.19-21.
10. Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Дубиняк С.А. Теорія технічних систем/ Під ред. Кузнецова Ю.М. – К.-Тернопіль: 1997. – 310с.

- 11.Лепихов В.Г. Самоустанавливающиеся инструменты. - М.: Машиностроение, 1974. – 77с.
- 12.Подпоркин В.Г. Обработка нежестких деталей. – М.-Л.: Машгиз, 1959. – 208с.
- 13.Васильевых Л.А., Сорокин В.Н., Салтыков Н.В. Определение прогибов ступенчатых валов при токарной обработке. - Изв. вузов. Машиностроение. 1976, №11.
- 14.Глушко В.В., Шумов В.Д. Автоматическое регулирование режимов резания на двухсуппортных токарных станках. – Станки и инструмент, 1973, №6, с.18-20.
- 15.Кораблев П.А., Купцов С.Г., Панков Г.В. Двухсуппортная токарная обработка. – Уфа: Башкириздат, 1968.- 64с.
- 16.Каширин А.И. Исследование вибраций при резании металлов. – М.-Л.: АН СССР, 1944. – 129с.
- 17.Васильевых Л.А. Токарная обработка ступенчатых нежестких деталей. - Изв. вузов. Машиностроение. 1975, №11.
- 18.Корсаков В.С., Лихтинов И.О. Обработка деталей типа тел вращения в гибких автоматизированных станочных системах.- Станки и инструмент, 1983, №11, с.7-10.
- 19.Васильев Г.Н. Автоматизация проектирования металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1987. - 280с.
- 20.Грановский Г.И. Кинематика резания. – М.: Машгиз, 1948. – 200с.
- 21.Кузнецов Ю. М. Високоточні надшвидкісні патрони для хвостового різального інструменту / Ю. М. Кузнецов, О. А. Гуменюк. // Вісник НТУУ КПІ".– 2004. – №45. – С. 80–83.
- 22.Кузнецов Ю. Н. Широкодиапазонные и многофункциональные зажимные механизмы / Под ред. Ю.Н. Кузнецова / Ю. Н. Кузнецов, В. Г. Кушик, О. Я. Юрчишин. – Киев: ООО «ЗМОК» - ООО «ГНОЗИС», 2011. – 424 с.
23. Кузнецов Ю. Н. Исследование силовых характеристик зажимного

патрона, работающего на высоких частотах вращения / Ю. Н. Кузнецов, Э. Фарук // Вестник НТУУ "КПИ". – 2004. – №45. – С. 76–79.

24. Кузнецов Ю. Н. Экспериментальные исследования высокоскоростного инструментального зажимного патрона / Ю. Н. Кузнецов, Ж. Г. Хамуйела, В. А. Недобой // Вісник НТУ "ХПІ". – 2014. – №60. – С. 117–124.

25. Кузнецов Ю. Н. Экспериментальные исследования характеристик высокоскоростного инструментального зажимного патрона / Ю. Н. Кузнецов, В. А. Недобой // Машинобудування очима молодих : Міжнар. наук.-техн. конф., 30 жовтня – 1 листопада 2013 р. – Кременчук, 2013. – С. 17-19.

26. Кузнецов Ю. М. Експериментальні дослідження впливу конструкції хвостовика інструменту на характеристики затискного патрона / Ю. М. Кузнецов, Ж. А. Герра Хамуйєла, В.А. Недобой // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво : XIV Всеукраїнська молодіжна наук.-техн. конф., 27-31 жовтня 2014 р.: тези доп. – Суми, 2014. – С. 18–19.

27. Кузнецов Ю.М. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури/ [Під ред. Ю.М. Кузнецова] Ю.М.Кузнецов, Д.О.Дмитрієв, Г.Ю.Діневич. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.

28. Кузнецов Ю.М. Концепція створення технологічних систем нового покоління на модульному принципі // Науковий журнал "Технологічні комплекси". – 2010. – №1. – С.8–14.

29. Кузнецов Ю. Н. Исследование и разработка методов проектирования цанговых зажимных и подающих патронов токарных автоматов: Дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Кузнецов Юрий Николаевич; НТУУ “КПИ” – К., 1969. – 149 с.

30. Кузнецов Ю. Н. Синтез зажимных механизмов прутковых автоматов : Дисс. ... док-ра техн. наук: 05.03.01 / Кузнецов Юрий Николаевич; Москва, 1983. – 561 с.

31. Фіранський В.Б. Створення робочих органів з рухомою платформою для верстатів з механізмами паралельної структури: Дис. ... канд. техн. Наук:

05.03.01 / Фіранський Володимир Борисович; НТУУ “КПІ” – К., 2011. – 248 с.

32.Фіранський В. Б. Пружно-напружений стан інструментальних затискних патронів нової конструкції / В. Б. Фіранський. // Вісник НТУУ "КПІ". – 2010. – №59. – С. 19–23.

33. Придальний Б.І. Створення приводів затиску для швидкохідних токарних автоматів. дис. кандидата технічних наук: Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Придальний Борис Іванович; Тернопіль, 2011. – 198 с.

34.Иванюк. И.А. Быстродействующие зажимные механизмы токарных автоматов с гидравлическим приводом: Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Иванюк Иван Алексеевич; НТУУ “КПИ” – К., 1984. – 235 с.

35.Хасан Аль-Даббас. Повышение качества обработки за счет разработки и применения сверлильно-фрезерных патронов : дисс. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / Хасан Аль-Даббас; Рос. ун-т дружбы народов – Москва, 2011 –161 с.

36.Дмитриевская Ю.С. Инструментальная система с повышенными виброзащитными свойствами для фрезерования заготовок сложнопрофильных деталей на станках с ЧПУ: Дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Дмитриевская Юлия Сергеевна; Санкт-Петербург, 2004. – 165 с.

37.Федориненко Д.Ю. Точність шпиндельних вузлів на регульованих гідростатичних опорах / Д.Ю. Федориненко, С.В. Бойко, С.П. Сапон // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Сер.: Машинобудування. - 2013. - № 3. - С. 145-149.

38.Федориненко Д.Ю. Тиск у карманах радіальних гідростатичних опор з урахуванням неідеальної геометрії проточної частини / Д.Ю. Федориненко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. - 2014. - № 1. - С. 99-107.

39.Федориненко Д.Ю. Аналіз точності оброблення на верстаті з регульованими шпиндельними гідростатичними опорами [Електронний ресурс] / Д. Ю. Федориненко // Вісник Чернігівського державного

технологічного університету. Серія : Технічні науки. - 2013. - № 3. - С. 104-111.

40.Сапон С.П. Методика експериментального визначення точності обертання шпинделя / С.П. Сапон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. - 2013. - № 1. - С. 66-74.

41.Данильченко Ю.М. Прецизійні шпиндельні вузли на опорах кочення: (Теорія і практика) / Ю.М. Данильченко, Ю.М. Кузнецов ; Тернопільський держ. технічний ун-т ім. Івана Пулюя, Національний технічний ун-т України "Київський політехнічний ін-т". - Т. ; К. : Економічна думка, 2003. - 342 с.

42. Michael Bräunig. Thermo-energetic Design of Machine Tools. - Berlin : Springer International Publishing, 2015, S. 13 - 26. - Lecture Notes in Production Engineering.

43.Hung Jui P. Prediction of the Dynamic Characteristics of a Milling Machine Using the Integrated Model of Machine Frame and Spindle Unit / Jui P. Hung, Yuan L. Lai, Tzuo L. Luo, Hsi H. Hsiao. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. – 2012. –№7

44.Liu Deping. Finite Element Analysis of High-Speed Motorized Spindle Based on ANSYS / Deping Liu; Hang Zhang; Zheng Tao; Yufeng Su // Open Mechanical Engineering Journal. – 2011. – Vol. 5.

до розділу №2

Авторські свідоцтва

1. А. с. 1090504 СССР, МПК В 23 В 13/00. Механизм зажима заготовок /Ю.Н. Кузнецов, В.И. Сидорко (СССР). - №3509620/25-08; заяв. 11.11.82. опуб. 07.05.84, Бюл.№17.

2. А. с. 173461 СССР, МПК В 23 В 13/28. Токарный патрон /Д.Н. Тверской, Ж.Н. Кадыров, В.Н. Дербенев, В.И. Кочкин, М.Т. Коротких, А.С. Маслий(СССР). - №4686259; заяв. 05.05.89. опуб. 23.05.92.

3. А. с. 201877 СССР, МПК В 23 G 5/08, В 13/28. Электромеханический привод механизированного токарного патрона /В.П. Жедь, Ю.З. Селюков (СССР). - №1074655; заяв. 12.05.66. опуб. 01.01.67.

4. А. с. 963710 СССР, МПК В 23 В 31/28. Электромеханическое зажимное устройство/В.В. Антонов, И.А. Якобсон(СССР). - №2989523; заяв. 08.10.80. опуб. 07.10.82.

5. А. с. 1093414 СССР, МПК В 23 В 31/14. Многокулачковый самоцентрирующий центробежный патрон/Г.Е. Панкевич, С.И. Дудко (СССР). - №2356935; заяв. 31.03.83. опуб. 23.05.84

Патенти

6. Пат. №80481 Україна, МПК В23В 17/00, В23В 19/00. Шпиндельний вузол верстата / Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І., Хамуйєла Ж. А. Герра, Недобой В. А.; заявник і власник Кузнецов Ю. М. – №201300339; заявл. 10.01.2013; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10.

7. Пат. №84924 Україна, МПК В23В 17/00, В23В 19/00. Шпиндельний вузол верстата / Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І., Хамуйєла Ж. А. Герра, Недобой В. А.; заявник і власник НТУУ “КПІ”. – № 201303687; заявл. 26.03.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.

8. Патент України на корисну модель № 112324. Шпиндельний вузол верстата. МПК В23В 17/00, В23В 19/00, В23Q 3/00, заявл. 15.06.2016, опубл. 12.12.2016, Бюл.№ 23

до розділу 3

- 1.Аверченков В.Н., Малахов Ю.А. Методы инженерного творчества. – Брянск: БИТМ, 1994. – 110 с.
- 2.Каменев А.Ф. Технические системы: закономерности развития. – Л.: Машиностроение, 1970. – 246 с.
- 3.Кузнецов Ю.Н., Новоселов Ю.К., Луцив И.В. Теория технических систем. – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2010. – 252 с.
- 4.Половинкин А.И. Законы строения и развития техники. Волгоград: изд-вою ВолгПи, 1985. – 212 с.
- 5.Хилл П. Наука и искусство проектирования. Научное обоснование решений / Пер. с англ.- М.; Мир, 1973. – 203 с.
- 6.Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. Учеб. пособие для студентов вузов – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
- 7.Половинкин А.И. Методы инженерного творчества. Учеб. пособие. Волгоград: ВолгПи, 1984, - 364 с.
- 8.Юдин Е.Е. Системный подход и принцип деятельности. – М.: наука, 1978. – 392 с.
- 9.Пальчевський Б.О. Принципи побудови і сучасні тенденції розвитку методів проектування технологічного обладнання // Науковий журнал «Технологічні комплекси» . – №1. – 2010. – с. 3 – 9.
- 10.Конструирование машин: Справочно-методическое пособие: В 2 т. Под ред. К.Ф. Фролова. – М.: Машиностроение, 1998. – 236с.
- 11.Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений. – М.: Мир, 1969. – 440 с.
- 12.Воинов Б.С. Принципы поискового конструирования радиоэлектронных устройств: Учеб. пособие. – Горький: ГГУ, 1982. – 75 с.
- 13.Чернов Л.Б. Основы методологии проектирования машин. Учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1978. – 148 с.
- 14.Хубка В.Теория технических систем. Пер. с нем. – М.Мир, 1987. – 208с.

15. Кузнецов Ю.Н. Синтез зажимных механизмов прутковых автоматов. Дис.... докт. техн. наук, Москва, МВТУ им. Баумана, 1984. – 515 с.
16. Кузнецов Ю.Н., Степаненко А.А., Хамуйела Герра Ж.А. Многоуровневой морфологический синтез малогабаритных фрезерных станков с компьютерным управлением // Scientific Journal Technological Complexes, №2(8), Луцьк, ЛНТУ 2013. – с.19 – 26.
17. Кузнецов Ю.Н., Хамуйела Ж.А. Герра, Неделчева П.М. Многоуровневой морфологический синтез механизмов подачи и зажима прутка токарных автоматов // Труды Международной Научной Конференции УНИТЕХ'11, Том II, 18 – 19.11.2011г. – Габрово, Болгария. – с. II53 – 59.
18. Моисеев Н.Н. Современное состояние исследования операций. – М.: Наука, 1979. – 464 с.
19. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного синтеза. – М.: Наука, 1981. – 486 с.
20. Литвак В.Г. Экспертная информация. Методы, получения и анализа – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
21. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. М.: Патент, 1996. – 271с.
22. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений: Пер. с нем. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
23. Подиновский В.В. Гаврилов В.М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям.- М.: «Сов. радио», 1975. – 192 с.
24. Блюмберг В.А., Глущенко В. Ф. Какое решение лучше?: Метод расстановки приоритетов. – Л.: Лениздат, 1982. – 160с.
25. Глушков В.М. О прогнозировании на основе экспертных оценок. – Наукоеведение – прогнозирование – информатика. – К.: Наукова думка, 1970. – с. 201 – 204.
26. Кузнецов Ю.М. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури під ред. Ю.М. Кузнецова / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.

27.Энциклопедия. Технологи России (машиностроение). Т.1. / А.Г. Суслов, В.В. Бушуев, В.А. Гричишников, В.П. Смоленцев // Технология машиностроения, станки и инструменты / Под общ.ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение – 1, 2006. – 412 с.

28.Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Неделчева П.М., Эль-Дахаби Ф.В. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием. / Под общ.ред. Ю.Н. Кузнецова – абово: Университетское издательство «ВасилАприлов», 2010. – 722 с

29.Кузнецов Ю.М. Світові тенденції і перспективи розвитку верстатобудування // 36. наукових праць за матеріалами науково-методичної конференції «Вища освіта - 2006». – К,: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2007. – с. 45 – 55.

30.Евланов А.Г. Теория и практика принятия решений. М.: Экономика, 1984. – 176 с.

31.Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечетной исходной информации. – М.: Наука. Главная редакция физ-мат. лит-ры, 1981. – 208 с.

32.Руа Б. Теория выбора и принятия решений: Уч. пос. /Б.Руа. М.: Наука, 1982. – 328 с.

33.Кузнецов Ю.М. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: Навч. посібник / Ю.М.Кузнецов, О.Ф.Саленко, О.О.Харченко, В.Т. Щетинін. – Київ-Кременчук-Севастополь: Вид-во «Точка», 2014. – 500 с.

34.Кузнецов Ю.М. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури під ред. Ю.М. Кузнецова / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.

35.Подольский М.И. Обґрунтування параметрів стрижневої супортної системи багатоцільових токарних верстатів типу гексаглайд. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. К.: 2014. – 22 с.

36.Воинов Б.С. Принципы поискового конструирования радиоэлектронных устройств: Учеб. пособие. – Горький: ГГУ, 1982. – 75 с.

37.Блюмберг В.А., Глущенко В. Ф. Какое решение лучше?: Метод расстановки приоритетов. – Л.: Лениздат, 1982. – 160с.

38.Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Фиранский В.Б., Гуменюк О.А. Инструментальные зажимные патроны. – К.: ООО "ГНОЗИС". 2012. – 286с.

39.Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Неделчева П.М., Эль-Дахаби Ф.В. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием. / Под общ.ред. Ю.Н. Кузнецова – Габрово: Университетское издательство «ВасилАприлов», 2010. – 722 с.

40.Кузнецов Ю.Н., Хамуйела Ж.А. Герра, Неделчева П.М. Многоуровневой морфологический синтез механизмов подачи и зажима прутка токарных автоматов // Труды Международной Научной Конференции УНИТЕХ'11, Том II, 18 – 19.11.2011г. – Габрово, Болгария. – с. II53 – 59.

41.Кузнецов Ю.Н. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: Монография / Ю.Н. Кузнецов, в.Н. Волошин, П.М. Неделчева, Ф.В. Эль-Дахаби; под ред. Ю.Н. Кузнецова.- Габрово: Университетское издательство «Васил Априлов», 2010.-724 с.

42.Кузнецов Ю.Н. Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения / Ю.Н. Кузнецов // Резание и инструмент в технологических системах. Междунар. науч.-техн. сб.- Харьков: НТУ «ХПИ», 2008, вып.85.- С.149-162.

43.Кузнецов Ю.Н., Хамуйела Ж.А.Герра, Попаров Ангел. Генетико-морфологический подход к созданию и прогнозированию развития зажимных механизмов для вращающихся дедалей //Journal of the TU-Sofia, Plovdiv branch "Fundament Sciences and Applications" Vol.19,2013.-p.p.3-8.

44.Шинкаренко В.Ф., Кузнецов Ю.Н. Междисциплинарный подход к моделированию и созданию сложных электромеханических систем на примере мотор-шпинделей // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу».-Херсон: ХНТУ, 2015.- с.8-13.

45.Шинкаренко В.Ф. Генетические программы структурной эволюции антропогенных систем (Междисциплинарный аспект) /В.Ф. Шинкаренко // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. Вип.13, том 4.- Мелітополь. 2013.- С.11-20.

46.Шинкаренко В.Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем: Монографія / В.Ф. Шинкаренко.-К.: Наукова думка, 2002.-288 с.

47.Орликов М.Л. Динамика станков: Учебн. Пособие 2-е изд.,перероб. И доп. /М.Л. Орликов.-К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989.-272 с.

48.Вейц В.Л. Электромеханические зажимные устройства станков и станочных линий: Монография / В.Л. Вейц, Л.И. Фридман.-Л.: Машиностроение, 1973.-264 с.

49.Кузнецов Ю.М. Приводи затискних механізмів металообробних верстатів: Монографія /Ю.М. Кузнецов, Б.І. Придальний; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.М. Кузнецова.-Луцьк: Вежа-Друк, 2016.-352 с.

50.Кузнецов Ю.М., Ель-Дахабі Ф.В., Хамуйєла Ж.А.Герра. Структурно-схемний синтез затискних патронів з використанням генетичних операторів // Научный журнал “Fundamentalis scientiam” (Фундаментальная наука), Испания, №11, 2017.- с.43-49.

51.Кузнецов Ю.Н. Морфологический синтез станков и их механизмов: Монография / Ю.Н. Кузнецов, Герра Ж.А. Хамуйєла; под ред. Ю.Н. Кузнецова.- К.: ООО «ГНОЗИС», 2012.-416с.

до розділу 4

1. Валиев, Р. З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Р. З. Валиев, И. В. Александров. – М. : Логос, 2000. – 272 с.
2. Трение и модифицирование материалов трибосистем : монография / Ю. К. Машков [и др.]. – М. : Наука, 2000. – 280 с.
3. Самоорганизация и структурное модифицирование в металлополимер- ных трибосистемах : монография / Ю. К. Машков [и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – 232 с.
4. Машков, Ю. К. Физическое материаловедение : конспект лекций / Ю. К. Машков, О. В. Малий. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2012. – 196 с.
5. Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси ; пер. с яп. А. В. Хачояна ; под ред. проф. Л. Н. Патрикеева. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 134 с.
6. Физические методы анализа материалов / Ю. К. Машков [и др.]. – Омск :Изд-во СибАДИ, 2003. – 112 с.
7. Елецкий, А. В. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства // Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172. – № 24. – С. 401–438.

до розділу 5

1. Заявка на Патент України №u201803835
2. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: / Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Кириченко А.М. та ін. / Під ред. Ю.М. Кузнецова. Навч. посібник для ВНЗ у 3-х част. – Кіровоград, 2003. – Частина II. Проектування та дослідження вузлів агрегатно-модульного технологічного обладнання. – 286 с
3. Дальский А.М. Цанговые зажимные механизмы. – М.: машиностроение, 1966. – 168с.
4. Конструирование машин: Справочно-методическое пособие: В 2 т. Под ред. К.Ф. Фролова. – М.: Машиностроение, 1998. – 236с.
5. Крайнев А.Ф. Идеология конструирования / А.Ф. Крайнев – М.: Машиностроение-1, – 2003. – 384с.
6. Кузнецов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія [Упорядник Кузнецов Ю.М.] / Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин – К. – Тернопіль: Терно-граф, – 2011.– 692с.
7. Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Неделчева П.М., Эль-Дахаби Ф.В. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием. В 2-х ч. / Под общ.ред.Кузнецова Ю.Н., ч.І Основные сведения и принципы создания зажимных механизмов, - К.: ООО «ЗМОК» – ООО «ГНОЗИС», 2009. – 270 с.
8. Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Фиранский В.Б., Гуменюк О.А. Инструментальные зажимные патроны. – К.: ООО "ГНОЗИС". 2012. – 286с.
9. Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Неделчева П.М., Эль-Дахаби Ф.В. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием. / Под общ.ред. Ю.Н. Кузнецова – Габрово: Университетское издательство «ВасилАприлов», 2010. – 722 с.
10. Кузнецов Ю.Н., Кушик В.Г. Юрчишин О.Я. Широкодиапазонные и

многофункциональные зажимные механизмы. – К.: ООО «ЗМОК» – ООО «ГНОЗИС», 2011. – 424 с.

11. Кузнецов Ю.Н. Синтез зажимных механизмов прутковых автоматов. Дис.... докт. техн. наук, Москва, МВТУ им. Баумана, 1984. – 515 с.

12. Кузнецов Ю.Н. Использование эвристических приемов в работе конструктора станочной оснастки. – М.: УТПМ, 1992. – 86 с.

13. Науковий твір. "Створення вузлів і механізмів для надшвидкісної і прецизійної обробки на верстатах нового покоління з паралельною кінематикою" // Кузнецов Ю.М., Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Дмитрієв Д.О., Волошин В.Н. – Свідectvo про реєстрацію авторського права на твір № 28940, 27.05.2009. – 576 с.

14. Орликов М.Л., Кузнецов Ю.Н. Проектирование зажимных механизмов автоматизированных станков. – М.: Машиностроение, 1977. – 142 с.

15. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування / І.І. Павленко. – Кіровоград, КНТУ, 2007. – 420 с.

16. Самонастраивающиеся зажимные механизмы: Справочник. / Ю.Н. Кузнецов, А.А. Вачев, С.П. Сяров, А.Й. Цървеников; под ред. Ю.Н. Кузнецова. – К.: Техника; София; Гос. изд-во "Техника", 1988. – 222 с.

17. Сосновский Я.Ш., Ткаченко П.Г. Функционально-стоимостной анализ. – К.: Техника, 1986. – 143 с.

18. Current trends in collect design. Austral. Mach. And product Engng, 1966. 19 N217.63.65.

19. Handbook of fixture design. Apractical Reverence book of Warkhalding, Frank W.Wilim, New York, Taronto, London, 1962.

20. Заблонский К.И., Белоконев И.М., Щекин Б.М. Теория механизмов и машин: Учебник. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1989. – 376 с.

21. Кузнецов Ю.Н., Герра Ж.А. Хамуйела, Аль-Рефо Ибрагим Фархан Салман. Описание и синтез зажимных механизмов станков на различных

уровнях сложности структуры // Scientific Journal Technological Complexes, №1(9), Луцьк, ЛНТУ 2014. – с.12 – 20.

22. Орликов М.Л. Проектирование механизмов станков-автоматов. – М.: Машиностроение, 1968. – 248 с.

23. Хамуйєла Жоакім Аугушто Герра. Генетико-морфологічний синтез затискних патронів: дисертація док. техн. наук: 27.06.17 / КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Київ, 2017.

24. Кузнецов Ю.Н. Контактные деформации зажимного элемента патронов с поверхностью круглой заготовки – Технология и автоматизация машиностроения. – Киев, 1979, вып. 23. – с. 30 – 37.

Додатки

Додаток А

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Київський національний університет будівництва і архітектури
Запорізький національний технічний університет
Вінницький національний технічний університет
Українська військово-медична академія
Харківський авіаційний університет
Сумський державний університет
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренко НАН України
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України



ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ—МАШИНОБУДУВАННЮ

s-conf.mmi.kpi.ua

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

СЕКЦІЯ
"КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН"

2017 р.

Тези доповідей всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів **«ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ - МАШИНОБУДУВАННЮ»** секція "Конструювання верстатів та машин" / Укладач Кравець О.М. – К: НТУУ "КПІ", 2017. – 82 с.

В збірці наведено тези доповідей всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів **«ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ - МАШИНОБУДУВАННЮ»** секція "Конструювання верстатів та машин".

Укладач: Кравець Олександр Михайлович, к.т.н., доцент кафедри конструювання верстатів та машин НТУУ "КПІ"

За редакцією авторів

Підписано до друку 22.05.2017 р. Формат 60х90/16.Папір офсетний. Друк – різнографія.
Наклад 85 прим.
НТУУ "КПІ", ММІ

сигналі: стартовим сигналом активується щуп, зворотний сигнал готовності показує готовність системи, комутаційний сигнал посиляється при відхиленні вимірювального стержня. При відсутності стартового сигналу вимірювальний щуп виникається. Завдяки цьому вимірювальні щупи з інфрачервоним приймачем-передавачем широко використовуються на вертикальних і горизонтальних шпинделях та поворотних головках. Вимірювальні щупи TS640 забезпечують точність вимірювання $\pm 5 \mu\text{м}$ і швидкість до 5 м/хв , а TS740 $\pm 1 \mu\text{м}$ та швидкість вимірювання до $0,25 \text{ м/хв}$.

Таким чином, використання вимірювальних щупів дозволяє з великою ефективністю покращувати технологічні можливості металообробного обладнання.

Список використаних джерел:

1. www.heidenhain.de

УДК 621.9.04

Колотуха В.А., студ., Кузнецов Ю.М., д.т.н. проф.

Національний технічний університет України "КПІ ім. Ігоря Сікорського"

ВИКОРИСТАННЯ НАНО-СТРУКТУРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ЗАТИСКНИХ МЕХАНІЗМІВ

Основною рисою сьогодення є третя промислова революція і серйозний виклик перед людством прийдешньої четвертої промислової революції INDUSTRY 4.0 з орієнтацією на штучний інтелект і останні досягнення в науці, серед яких мікротехнології, мікроелектромеханічні системи, нанотехнології, наноелектроніка, нанометрологія, нанообладнання, наноіндустрія [2-6].

Вибір структурного матеріалу для виробу - це завжди пошук компромісу між твердістю і деформацією. Властивості матеріалу визначається згідно з його складу і мікроструктури: вони отримуються в процесі синтезу і обробки. Однак при експлуатації виробу зовнішні умови можуть змінюватися, і разом з ними може істотно змінитися перелік вимог до матеріалу. І, звичайно ж, було б дуже добре, щоб під певним впливом матеріал міг тимчасово змінити свої властивості.

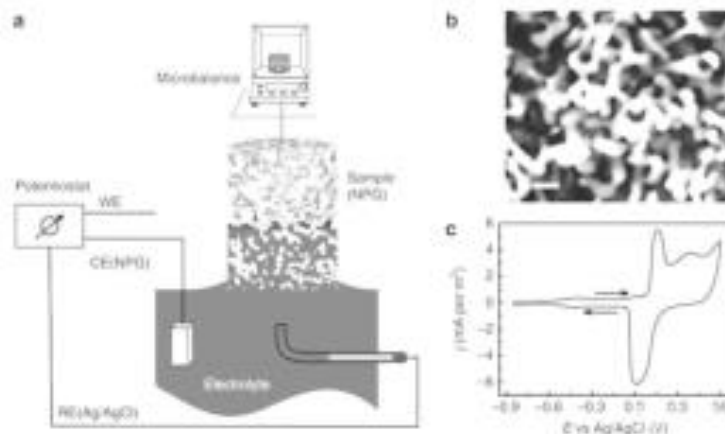
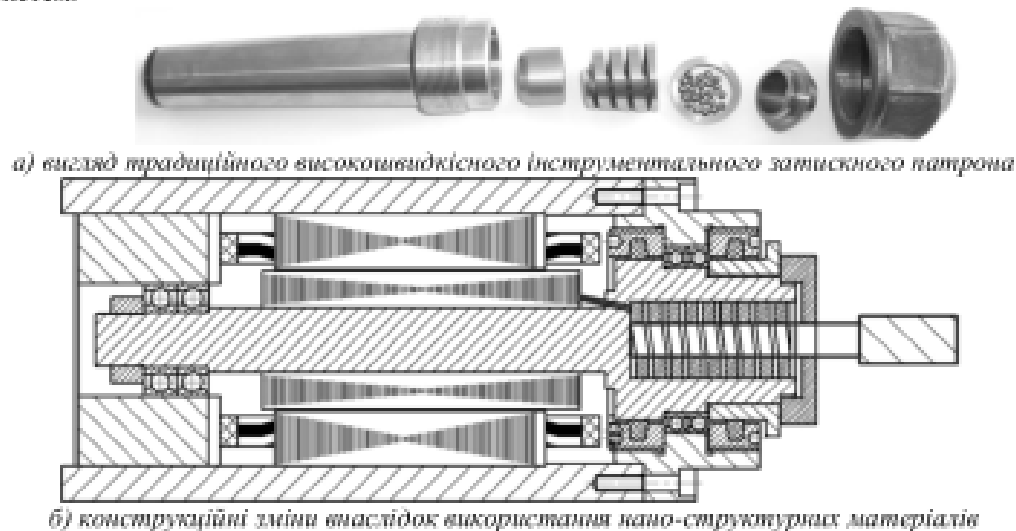


Рис. 1 Схеми проведення дослідів

Вчені Хай-Цзюнь Цзінь (Hai-Jun Jin) і Йорг Вайсмуллер (Jörg Weissmüller) розмістили на сторінках сайту Science інформацію [1], присвячену розробці матеріалу, який здатний змінювати свої властивості такі, як межа текучості, напруження текучості і

в'язкості. Матеріал має гібридну наноструктуру, що складається з міцної металевої основи і електроліту (в якості другого елементу). Для зміни вищевказаних властивостей потрібно впливати на виріб електричним струмом певного потенціалу, що здійснюється через зовнішній інтерфейс. Подібний підхід дозволяє користувачеві виробу робити його, при необхідності, більш м'яким, після чого він знову стає твердим (рис.1).

Взявши за фундаментальну основу проведення даного експерименту і отримані результати, та використавши сучасні методи отримання матеріалів, стає можливим використання даного методу для виготовлення і спрощення конструктивних елементів для створення високошвидкісних затискних механізмів (рис. 2 а,б), а в деяких випадках і повна заміна механічних елементів конструкції та повне видалення вузлів механічних систем.



а) вигляд традиційного високошвидкісного інструментального затискного патрона
б) конструкційні зміни внаслідок використання нано-структурних матеріалів
Рис.2. Порівняння використання традиційних (а) і нано-структурних матеріалів та електромагнітного поля (б) у високошвидкісних затискних механізмах

Можливе використання металів, отриманих за даним методом, в машинобудуванні та виготовлених на їх основі деталей конструкції затискних механізмів. Конструкція високошвидкісного затискного механізму створеного на основі нано-структурних матеріалів і така ж конструкція з використанням традиційних матеріалів, дає досить значні конструкційні відмінності. Це пояснюється тим, що перестав використовуватися значна кількість елементів конструкції та ряд механізмів.

Використання нано-структурних матеріалів у високошвидкісних затискних механізмах значно спрощує конструкцію в цілому, що в свою чергу приводить до значного підвищення точності (в кілька разів), так як зменшується кількість похибок елементів конструкції в цілому.

Висновок: проаналізувавши дані експерименту [1] і взявши їх за основу в подальших конструкціях нано-структурних високошвидкісних затискних механізмів, створюються реальні можливості зробити складну конструкцію значно простішою, більш технологічною і простою, що в свою чергу позитивно вплине на підвищення точності обробки.

Список використаних джерел:

1. Switchable imbibition in nanoporous gold. Nature Communications 5.
2. Кузнецов Ю.М., Гуменюк О.А. Високоточні надшвидкісні патрони для хвостового різального інструменту // Вісник НТУУ "КПІ", серія машино-будування.-2004.-№ 45.- С.80-83.

3. Кузнецов Ю.М., Гуменюк О.А., Рудковський А.М., Хасан Аль-Даббас. Принципи створення інструментальних прецизійних затискних патронів для високошвидкісної обробки //Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету.-2006.-Вип.17.-С.134-141.
4. Кочанов Д.И. Наноматериалы и нанотехнологии для машиностроения: состояние и перспективы применения//Металлообрабатывающее оборудование, октябрь 2010. - с.16-21 (www.ritm-magazine.ru).
5. Патент Німеччини №DE 60 2004 011 908 T2, МПК В23Q 3/12. П'єзоелектрична цанга. 2009.03.19.
6. А.С. СРСР №1565600, МПК В23В 31/20. Цанга. Опубл. 23.05.90. Бюл. №19.

УДК 621.583

Мілевський В.В., студент, наук. кер. *Стадник В.А., к.т.н., доц.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: v.stadnyk@i.ua

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ПІДСУМОВУВАННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ЗУБЦІВ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЇХ ДОВГОВІЧНОСТІ

На практиці режими навантаження зубчастих передач зі строго постійним навантаженням зустрічається дуже рідко. А тому при розрахунках зубчастих передач в теперішній час за розрахункове навантаження згідно циклограми навантаження приймають максимальне робоче навантаження, а перемінність навантажень з метою зменшення ваги зубчастих коліс враховують вибором допустимих напружень з умови підсумовування за гіпотезою Д.М. Решетова [1] шляхом підсумовування пошкоджень від кожного із навантажень зокрема і визначення еквівалентного числа циклів навантаження N_0 . Для уточнення методу підсумовування пошкоджень при різних навантаженнях та накопичення більшого числа експериментальних даних безпосередньо на зубчастих передачах пропонується стенд з замкнутим силовим контуром.

Стенд (рис. 1.) містить випробовувану зубчасту передачу, що складається із двох зубчастих коліс 1, 2 різних діаметрів з числами зубців, рівними відповідно Z_a і Z_b і замикаючий пристрій, змонтовані в окремих картерах.

Відношення числа зубців Z_b / Z_a виражене у вигляді мішаного числа $K \frac{m}{a}$,

Де k - ціла частина мішаного числа, m і a – відповідно чисельник і знаменник правильного дробу мішаного числа.

Замикаючий пристрій виконаний у вигляді багатодискової фрикційної передачі, що складається із базового 3 і програмного пакетів дисків 4.

Програмний пакет дисків 4 установлений на одному із валів і складається із основного набору дисків 5 і декількох додаткових наборів дисків, наприклад: дисків 6,7,8, з виконаними на них робочими і допоміжними доріжками у вигляді конічних поясків.

Робочі доріжки основного набору 5 програмних пакетів дисків виконані у вигляді замкнутих поясків з середнім діаметром d_{pm} меншим або більшим діаметра d_n початкового кола колеса, установленого на одному валу з програмними пакетами дисків.

Допоміжні доріжки кожного із додаткових програмних пакетів 6-8 виконані у вигляді замкнутих поясків з середнім діаметром d_n початкового кола колеса,

№ п/п	Автори та назва	Стор.
17.	Коломієць І., Пушкарук Х. студ., Ковальов В.А., к.т.н., доц. ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІЮВАННЯ В ВЕРСТАТАХ З ЧПК	39
18.	Косташук Б., Сухий А. студ., Ковальов В.А., к.т.н., доц. ВІМІРЮВАЛЬНІ ЩУПИ У ВЕРСТАТАХ З ЧПК	41
19.	Колотуха В.А., студ., Кузнецов Ю.М., д.т.н. проф. ВИКОРИСТАННЯ НАНО-СТРУКТУРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ЗАТИСКНИХ МЕХАНІЗМІВ	43
20.	Мілевський В.В., студент, наук. кер. Стадник В.А., к.т.н., доц. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ПІДСУМОВУВАННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ЗУБЦІВ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЇХ ДОВГОВІЧНОСТІ	45
21.	Мітусов М.С., наук. кер. Верба І.І., к.т.н., доц. АНАЛІЗ ДЕЯКИХ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ ПРИ ВИБОРІ РЕВОЛЬВЕРНИХ ГОЛОВОК	47
22.	Назаренко Є.В., студ.; Новік М.А., к.т.н., доц. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПНЕВМОГІДРАВЛІЧНИХ ЦИФРОВИХ ПРИВОДІВ В ЯКОСТІ ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ МЕТАЛО- ТА ДЕРЕВООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ	49
23.	Назаренко Я.О., студ., Дідовець В.Е., асист. ОСНАЩЕННЯ МОТОР- ШПИНДЕЛЯ ЦИФРОВИМ ПНЕВМОГІДРАВЛІЧНИМ ПРИВОДОМ ПОДАЧІ	51
24.	Литвин О.В., к.т.н., доц., Немошников В.М., студ. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦАНГОВОГО ПАТРОНА З АДАПТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ	52
25.	Плахотнюк В.В., студ.; керівник Струтинський В.Б. д.т.н. проф. МЕТОДИКА ВІМІРЮВАННЯ ТОЧНОСТІ КУЛЬ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ	53
26.	Поколенко Є.О., студ., Новік М.А., к.т.н., доц. ПНЕВМОГІДРАВЛІЧНИЙ ЦИФРОВИЙ ПРИВОД РУКИ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА	55
27.	Поколенко Е.О., студ. Струтинський В.Б., д.т.н., проф. КУМУЛЯТИВНИЙ ЗАРЯД	57
28.	Руденко Д.О., студ., Новік М.А., к.т.н., доц. СИНТЕЗ СТРУКТУРИ БАГАТОПОЗИЦІЙНОГО КОМБІНОВАНОГО ПРИВОДУ З ЦИФРОВИМ КЕРУВАННЯМ	59
29.	Савонькін Є.О., студ., Кравець О.М., к.т.н., доц., Кравець В.О., асист. АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИМИ ПЕРЕМІЩЕННЯМИ ПРИВОДІВ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА	61
30.	Світач В.Ю., наук. кер. Гейчук В.М., д.т.н., проф. ВЕРСТАТ ДЛЯ ОБРОБКИ КУЛЬОК З НАПІВДОРОГОЦІННИХ КАМЕНІВ	63
31.	Семерак Д.О., дійсний член МАН, Могильний С.Б., к.т.н., доц. МАНІПУЛЯТОР РОБОТА З МОЖЛИВІСТЮ АДАПТАЦІЇ КЛЕШНІ ДО ФОРМИ ОБ'ЄКТА	66
32.	Субота Д.Ю., студент, Кравець О.М., к.т.н., доц., Кравець В.О., асист. ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ РІЗНИХ ТИПІВ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧІ ВІБРОДІАГНОСТИКИ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ	67

Додаток Б

Міністерство освіти і науки України
Чернігівський національний технологічний університет
Донбаська державна машинобудівна академія
Житомирський державний технологічний університет
Запорізький національний технічний університет
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України
Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського
Луцький національний технічний університет
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Національний університет «Львівська політехніка»
Одеський національний політехнічний університет
Сумський державний університет
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя
Хмельницький національний університет
Центральноукраїнський національний технічний університет



Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції

«МАШИНОБУДУВАННЯ ОЧИМА МОЛОДИХ: ПРОГРЕСИВНІ ІДЕЇ – НАУКА – ВИРОБНИЦТВО»

01 - 03 листопада 2017 р.
м. Чернігів

УДК 621.01:008(063)

M68

*Затверджено до друку вченою радою Чернігівського національного технологічного університету
(протокол № 9 від 30.10.2017)*

Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво (МОН – 2017):
матеріали тез доповідей XVII міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 01 – 03
листопада 2017 р.) : / Чернігівський національний технологічний університет [та ін.] ; відп. за вип.:
Єрошенко Андрій Михайлович. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – 227 с.

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова програмного комітету:

д.т.н., проф. Кальченко В.І. (м. Чернігів, ЧНТУ)

Члени програмного комітету:

д.т.н., проф. Антоноук В.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

д.т.н., проф. Грабченко А.І. (м. Харків, НТУ «ХПІ»)

д.т.н., проф. Гурей І.В. (м. Львів, НУ «Львівська політехніка»)

д.т.н., проф. Доброскок В.Л. (м. Харків, НТУ «ХПІ»)

д.т.н., проф. Залога В.О. (м. Суми, СумДУ)

д.т.н., проф. Калафатова Л.П. (м. Покровськ, ДонНТУ)

д.т.н., проф. Кальченко В.В. (м. Чернігів, ЧНТУ)

д.т.н., проф. Клименко Г.П. (м. Краматорськ, ДДМА)

д.т.н., проф. Клименко С.А. (м. Київ, ІНМ ім. Бакуля)

д.т.н., проф. Кональов В.Д. (м. Краматорськ, ДДМА)

д.т.н., проф. Кузнецов Ю.М. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

д.т.н., проф. Луців І.В. (м. Тернопіль, ТНТУ ім. І Пулюя)

д.т.н., проф. Мазур М.П. (м. Хмельницький, ХНУ)

д.т.н., проф. Майборода В.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

д.т.н., проф. Марчук В.І. (м. Луцьк, ЛНТУ)

д.т.н., проф. Мельничук П.П. (м. Житомир, ЖДТУ)

д.т.н., проф. Павленко І.І. (м. Кропивницький, ЦНТУ)

д.т.н., проф. Панчук В.Г. (м. Івано-Франківськ, ІФНУНГ)

д.т.н., проф. Пасічник В.А. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

д.т.н., проф. Пермяков О.А. (м. Харків, НТУ «ХПІ»)

д.т.н., проф. Петраков Ю.В. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

д.т.н., проф. Равська Н.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

д.т.н., проф. Саленко О.Ф. (м. Кременчук, КНУ ім. Михайла Остроградського)

д.т.н., проф. Струтинський В.Б. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

д.т.н., проф. Тонконогий В.М. (м. Одеса, ОНПУ)

д.т.н., проф. Турманідзе Р.С. (м. Тбілісі, Грузія, ГТУ)

д.т.н., проф. Jozef Zajac (м. Кошице, Словаччина, Технічний університет)

Відповідальний координатор конференції:

к.т.н., доц. Сапон Сергій Петрович, тел. (097) 3844197, e-mail: s.sapon@gmail.com

Адреса оргкомітету:

Чернігівський національний технологічний університет,
кафедра технологій машинобудування та деревообробки
14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 2, кімн. 216, тел. (0462) 66 51 45

*Матеріали друкуються в авторській редакції мовою оригіналів. За виклад, зміст і достовірність
матеріалів відповідають автори.*

УДК 621.01:008(063)

©Чернігівський національний технологічний університет

List of references

1. Klymenko G.P. Reliability of prefabricated tools and their service processes on heavy lathes / G.P. Klymenko // Reliability of cutting tools and optimization of technological systems. - Kramatorsk: DSEA, 2001. – Issue. 11. – P.13 – 18.
2. Klymenko G.P. Increasing the stability of machining of parts by the cutters of heavy CNC machines / G.P. Klymenko, A.V. Andronov // Modern technologies in machine building. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2010. – Issue. 4. – P.239 – 246.
3. Operation of prefabricated incisors: monograph / [Klymenko G. P., Mironenko E. V., Guzenko V. S., Vasilchenko Y.V., Shapovalov M.V.] – Kramatorsk: DSEA, 2015. – 83p.
4. Klymenko G.P. Determination of rational operating procedures for tools for heavy machine tools with CNC / Klymenko G. P., Vasilchenko Ya. V., Lishenko A. M. // Cutting and the tool in technological systems: Int. scientific-techn. festschrift – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – Issue. 86. – p. 49 – 56.

ВИКОРИСТАННЯ НАНО-СТРУКТУРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ЗАТИСКНИХ МЕХАНІЗМІВ

Калотуха В. А., студент

Кузнецов Ю. М., докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

В 2011 р. німецькими промисловцями на ГанOVERській ярмарці було заявлено про початок четвертої промислової революції, яку частіше називають "INDUSTRY 4.0". Вже кілька років це обговорюють на Всесвітньому економічному форумі (ВЕФ) в Давосі з наголосом про те, що "INDUSTRY 4.0" стирає межі між фізичними, цифровими і біологічними сферами [1, 2]. Основної ціллю даної революції є орієнтація на штучний інтелект, повну автоматизацію з використанням роботів, засобів комунікації, створення розумного виробництва нового покоління і SMART-заводів, на яких гнучкі виробничі лінії зможуть самостійно діагностувати свій стан, попереджувати операторів про можливі недоліки і поломки, проводити контроль за обробкою продукції від заготовки до пакування готового виробу. Проектування і підготовка виробничих процесів і вибір обладнання для обробки буде проходити в віртуальному режимі, що суттєво скоротить час і витрати на виготовлення деталей [1]. Створення SMART-заводів в високо розвиненій державі не можливе без вітчизняного верстатобудування – серцевини машинобудування, де основна продукція – верстати розглядаються як машини, що створюють інші машини [2, 3].

Вчені Хай-Цзюнь Цзінь (Hai-Jun Jin) і Йорг Вайсшмюллер (Jörg Weissmüller) розмістили на сторінках сайту Science інформацію [4], присвячену розробці матеріалу, який здатний змінювати свої властивості такі, як межа текучості, напруга текучості і в'язкості. Виконаний аналіз публікацій вчених світу, які займаються питаннями трансмутації – перетворення одних речовин в інші (рис.1).

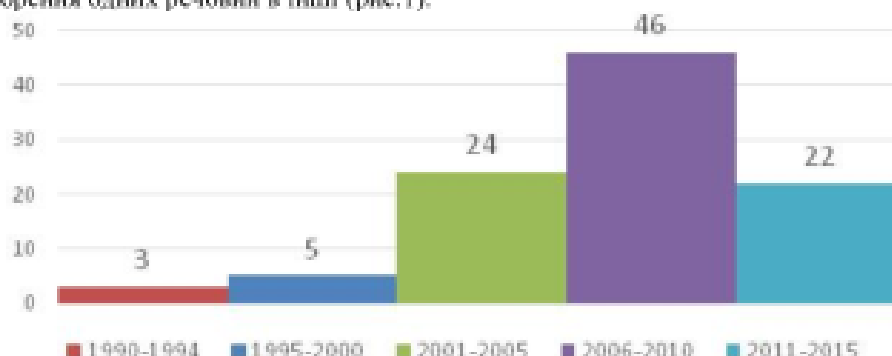


Рис. 1 – Динаміка публікацій вчених світу в галузі трансмутації

Матеріал має гібридну наноструктуру, що складається з міцної металевої основи і електроліту (в якості другого елементу). Для зміни вищевказаних властивостей потрібно впливати на виріб електричним струмом певного потенціалу, що здійснюється через зовнішній інтерфейс. Подібний підхід дозволяє користувачеві виробу робити його, при необхідності, більш м'яким, після чого він знову стає твердим (рис. 2).

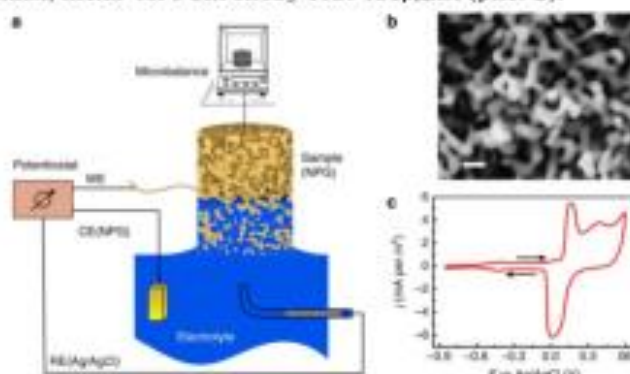


Рис.2 – Схема проведеного дослід. Експериментальна установка, електронна мікрофотографія та циклічна вольтамперограма нанопористого золота; (а) - Схеми експериментальної установки для вживання водних електролітів у нанопористе золото під контрольним потенціалом електродів. WE - робочий електрод; RE - еталонний електрод; CE - протилежний електрод; (б) - Скануюча електронна мікрофотографія, що показує мікроструктуру. Масштаб 100нм. (с) - Циклічна вольтамперограма щільності струму, j , порівняно з потенціалом, E , в 1М розчині KOH при швидкості потенціалу сканування 1 mV s^{-1} . Електрод для порівняння - Ag / AgCl в 3М KCl

Застосування навіть досить високо технологічно обробленого золота в верстатобудуванні є не доцільним і значно дорогим, доцільніше використовувати менш цінні метали. На даний час проведений експеримент з отриманням нанопористого срібла та титану. На сьогоднішній час проведенні експерименти з отриманням нанопористих структур титану, що в подальшому дасть можливість використовувати його для створення високошвидкісних затискних механізмів. Для формування гіпотез використання нано-структурного титану (рис. 3.) в високошвидкісних затискних механізмах в якості основного матеріалу для виготовлення затискного механізму нового покоління і з новими принципами затиску, дасть можливість значно спростити, а в деяких випадках відмовитися від використання цілих модульних вузлів в конструкціях мотор-шпинделів [6].

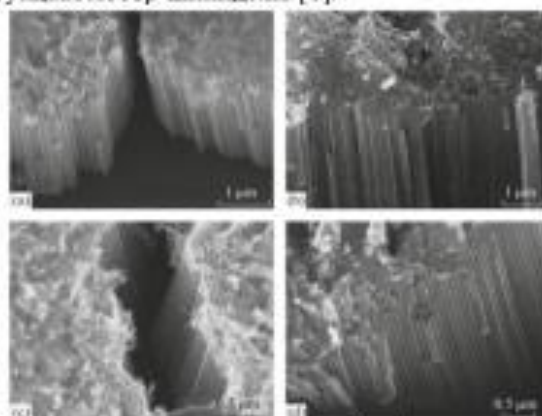


Рис. 3 – Електронні мікроскопічні зображення бічної поверхні перелому пористого шару TiO_2 , різних ділянок зразків (а – d)

Можливе використання металів, отриманих за даним методом, в машинобудуванні та виготовлених на їх основі деталей конструкцій затискних механізмів. Високошвидкісний затискний механізм, створений на основі нано-структурних матеріалів (рис. 4), і такого ж призначення з використанням традиційних матеріалів, мають досить значні конструкційні відмінності. Це пояснюється тим, що зникає значна кількість елементів конструкції (привод затиску з додатковим джерелом енергії, передатно-перетворюючі ланки, тощо).

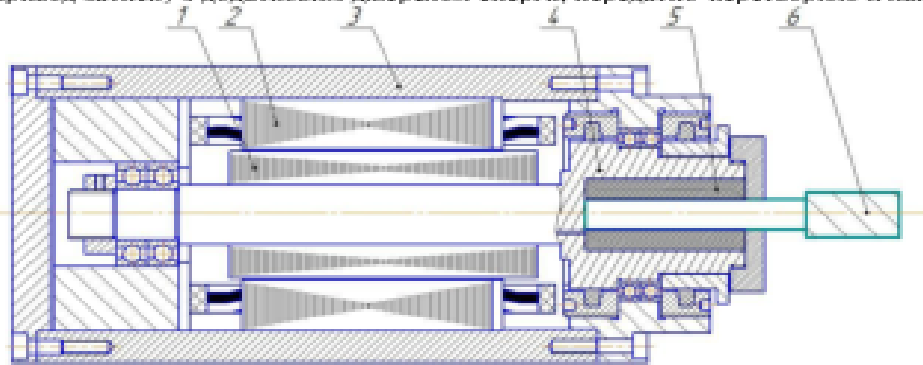


Рис.4 – Ескіз високошвидкісного шпиндельного вузла на основі мотор-шпинделя із спрощеним затискним механізмом у вигляді патрона-втулки з нано-структурного матеріалу: 1 – ротор, 2 – статор, 3 – корпус, 4 – шпиндель, 5 – затискна патрон-втулка, 6 – інструмент

Використання нано-структурних матеріалів у високошвидкісних затискних механізмах значно спрощує конструкцію в цілому, що в свою чергу приводить до значного підвищення точності (в кілька разів) при суттєвому зменшенні кількості похибок елементів конструкції в цілому.

Висновок: Проаналізувавши дані експерименту [5] і прийнявши їх за основу в подальших конструкціях нано-структурних високошвидкісних затискних механізмів, створюються реальні можливості складну конструкцію зробити значно простішою, більш технологічною і простою, що в свою чергу позитивно вплине на підвищення точності затиску і обробки.

Список посилань

1. МЕТАЛ-КУР'ЄР. Інноваційні технології 4.0 [Текст] / МЕТАЛ-КУР'ЄР // Інноваційні технології - Януарь 2017 – С. 4 – 12.
2. Кузнецов Ю.Н. Вызовы четвертой промышленной революции «ИНДУСТРИЯ 4.0» перед учеными Украины [Текст] / Кузнецов Ю.Н. // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу-2017», – Херсон: ХНТУ – 2017. – № 3. – с. 21 – 24.
3. Кузнецов Ю.Н. Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения [Текст] / Кузнецов Ю. Н. // Резание и инструмент в технологических системах Междунар. науч.-техн. сб. - Харьков: НТУ «ХПИ». – 2008. – Вып.85. – с.149 – 162.
4. Кузнецов Ю.Н. Создание станков нового поколения с применением генетико-морфологического подхода (часть 1,2) [Текст] / Кузнецов Ю.Н. // Междунар. науч. Конференция «УНИТЕХ- 10». – Габрово, т.2. – 2010. – с.П-79 – П-91.
5. Switchable imbibition in nanoporous gold [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nature.com>.
6. Preparation of Nanoporous Titanium Oxide Films by Electrochemical Anodic Oxidation [Текст] / V. A. Nebol'sin*, B. A. Spiridonov, A. I. Dunaev, - and E. V. Bogdanovich. - Voronezh. - December. - 2016. – С. 595 – 596.

Осадчий О. А., Писаренко О. Л. Вплив змащення ключових вузлів на вібраційний стан верстата	168
Ковальов В. Д., Антоненко Я. С. Проектування важких верстатів з урахуванням результатів експериментальних натурних досліджень	170
Дядя С. И., Тришин П. Р. Оценка интенсивности износа волокон полимерно-абразивных щеток	171
Гончар Н. В., Тришин П. Р., Кудрицкая И. А. Силовые исследования при обработке полимерно-абразивными щетками В различных тепловых условиях	173
Штанкевич В. С. К вопросу о снижении интенсивности автоколебаний при концевом фрезеровании за счёт использования разношаговых фрез	174
Кальченко В. В., Венжега В. І., Литвин О. О., Кальченко Д. В. Дослідження процесу двостороннього шліфування деталей з різними діаметрами торців крутами з калібруючими ділянками	175
Єрошенко А. М., Кальченко Д. В. Дослідження процесу двостороннього шліфування деталей з однаковими діаметрами торців що обертаються крутами з калібруючими ділянками	177
Васильченко Я. В., Сукова Т. О. Підвищення ефективності важкого металорізального обладнання на основі визначення його раціональних технічних та конструктивних параметрів	179
Klymenko G. P., Kvashnin V. V., Krasnova A. O. The selection of cutting tools design and cutting modes for heavy lathe	180
Колотуха В. А., Кузнецов Ю. М. Використання нано-структурних матеріалів для створення високошвидкісних затискових механізмів	182
Холод А. В., Осипов М.Ю., Андрущенко М. И., Капустян А. Е., Акрытова Т. А. Влияние температуры испытаний на способность инструментальных сталей с метастабильным аустенитом самоупрочняться в процессе изнашивания	185
Куликовский Р. А., Капустян А. Е., Коротич Ю. С. Исследование усталостной прочности сварных соединений титановых сплавов	187
Нездоля Н. А., Антонюк В. С. Влияние износостойких покрытий на напряжения в режущем инструменте	188
Тонконогий В. М., Якимов А. А., Бовнегра Л. В., Безнос С. В., Добровольский В. В. К вопросу о снижении теплового фактора при плоском абразивном шлифовании	190
Кальченко В. І., Кальченко В. В., Сіра Н. М., Кужельний Я. В. Моделювання процесу різання одиничним абразивним зерном під час шліфування	192
Кальченко В. І., Кальченко В. В., Следнікова О. С., Винник В. О. Дослідження процесу двостороннього шліфування торців хрестовин карданих валів орієнтованими шліфувальними крутами з калібруючими ділянками	194
Гаврушкевич Н. В., Гейчук В. М. Стенд і методика досліджень сил опору магнітно-абразивного інструменту при обробці деталей в умовах "кільцевої ванни"	196
Балицька Н. О., Мельник О. Л., Карплюк Р. В., Полонський Л. Г. Інженерна методика параметричної оптимізації конструкції круглих компенсаційних отворів дискової фрези в середовищі Solid Works Simulation	198
Пригоровська Т.О., Роп'як Л.Я. Дослідження процесу різьбошліфування	200

Додаток В

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Фізико-математичний факультет
(Кафедра нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки)
Українська асоціація з прикладної геометрії
Академія наук вищої освіти України

ЗБІРНИК ДОПОВІДЕЙ

VII-ї ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
СТУДЕНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
«ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ДИЗАЙН, ОБ'ЄКТИ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ТА ІННОВАЦІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ СТУДЕНТІВ
ТА МОЛОДИХ ВЧЕНИХ»

26 – 27 квітня 2018 р.
Україна, м. Київ

Відповідальний за випуск – д-р. техн. наук, проф., Ванін В.В.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Співорганізатори конференції:
Українська асоціація з прикладної геометрії,
Академія наук вищої освіти України

Програмний комітет:

Ванін В.В.	заслужений працівник народної освіти України, д-р техн. наук, професор, декан ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського
Колосов О.Є.	заслужений винахідник України, академік Академії наук вищої освіти України, д-р техн. наук, с.н.с., професор каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського
Кузнецов Ю.М.	заслужений винахідник УРСР, заслужений працівник народної освіти України, академік АН вищої освіти України д-р техн., професор кафедри ВМ ММІ КПІ ім. Ігоря Сікорського,
Юрчук В.П.	д-р техн. наук, професор каф. НГІКТ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Збірник доповідей VII-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених». – Випуск 7. с. з іл..

В авторській редакції

Укладач: канд.техн.наук Колосова О.П.

Адреса редколегії: 03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37, ФМФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Тел. (044) 204-94-46. E-mail: geometry@kpi.ua, conferencengkg@gmail.com

© Автори доповідей, 2018

© КПІ імені Ігоря Сікорського



Шановні колеги, дорогі друзі!

Щиро вітаю учасників VII Всеукраїнської науко-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн та об'єкти інтелектуальної власності»!

Майбутнє кожної країни визначається освітою її народу. Саме освіта становить основу духовного, соціального, економічного та культурного розвитку суспільства. Освіта формує інтелект нації. Вона відтворює, нарощує інтелектуальний, духовний та економічний потенціал нації.

Наша конференція відбувається напередодні 120-ї річниці нашого університету. Д.І.Менделєєв, голова першої атестаційної комісії інженерів нашого вишу, казав, що в жодному виші він не бачив такої фундаментальної глибини знань, як у Київському політехнічному інституті.

Сьогодні саме Ви – учасники таких конференцій – продовжуєте традиції, закладені нашими попередниками. Саме Ви у майбутньому будете визначати розвиток держави, її авторитет у світі, рівень життя її громадян. Саме Ви спроможні створити нові інноваційні технології та обладнання для їх реалізації, знайти ефективні рішення на виклики нашого сторіччя.

Прикладна геометрія, як наука, створює базу для моделювання різноманітних явищ, процесів, машин і механізмів.

«Геометрія – керманіч усіх розумових пошуків» - наголосив М.Ломоносов.

Логіка, чіткість та краса геометричних образів та тверджень не тільки розвивають творче мислення, але і слугують базою розв'язання багатьох технічних задач.

Дизайн промислового виробу також базується на ретельній проробці його геометрії. Від цього залежить і якість виробу, його комфортності для людини, можливість отримати найбільший ефект при користуванні.

Основне місце в творчому розвитку займає винахідницька діяльність. Винахід – це результат творчої розробки від ідеї до втілення у виріб або процес – об'єкт інтелектуальної власності творчої особистості.

Вітаю Ваші пошуки у цих напрямках.

Бажаю творчих успіхів!

Декан фізико-математичного факультету,
заслужений працівник народної освіти
України, д.т.н., професор

В.Ванін

ВИКОРИСТАННЯ НЕСТАНДАРТНИХ МАТЕРІАЛІВ В ВЕРСТАТОБУДУВАННІ

Колотуха В.А., студент ММІ,

Кузнецов Ю.М., д.т.н. професор.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

(Україна, м. Київ)

Анотація – у статті розглянуто деякі аспекти використання нано-структурних матеріалів в металорізальних верстатах, а саме для створення нових високошвидкісних і високоточних затискних механізмів в шпиндельних вузлах. Окреслено напрямки подальших наукових досліджень у теоретичному та практичному аспектах.

Ключові слова – нано-структурні матеріали, шпиндельний вузол, високошвидкісний затискний механізм високоточний затискний механізм.

Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень.

Створення затискних механізмів для привода головного руху верстату несе з собою досить велику кількість параметрів, які потрібно враховувати при створенні шпиндельного вузла, що призводить до його ускладнення як при конструюванні, так і при виготовленні (технологічний фактор). Зміна матеріалу затискного механізму призведе до значного спрощення конструкції шпиндельного вузла в цілому, а на рівні структурного синтезу і для передбачення нових принципів затиску (типу «процес») з використанням теорії еволюції електромеханічних систем [4,5] і запропонованого генетико-морфологічного підходу [6,7-9], де на генетичному рівні носієм генетичної інформації прийнята матеріальна точка. На хромосомному рівні такий перенос інформації здійснюється в просторі від однієї матеріальної точки до іншої [10], а на об'єктному рівні – перетворення інформації в потоці (кінематичному, силовому, енергетичному) за рахунок перетворювачів і різних середовищ.

Формулювання цілей. Створення високошвидкісних затискних механізмів з використанням нано-структурних матеріалів при забезпеченні високої точності.

Основний зміст досліджень.

Конструкція високошвидкісного затискного механізму, створеного на основі нано-структурних матеріалів і така ж конструкція з використанням традиційних матеріалів, має досить значні конструкційні

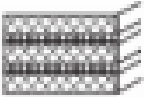

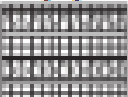
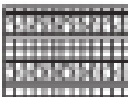


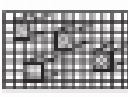

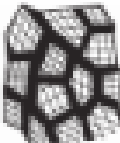
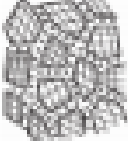
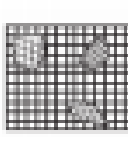
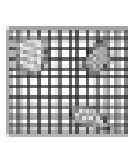
відмінності. Це пояснюється тим, що перестає використовуватися значна кількість елементів конструкції та ряд механізмів.

Вибір структурного матеріалу для виробу - це завжди пошук компромісу між твердістю і деформацією. Властивості матеріалу визначаються згідно з його складом і мікроструктурою: вони отримуються в процесі синтезу і обробки. Однак при експлуатації виробу зовнішні умови можуть змінюватися і разом з ними може істотно змінитися перелік вимог до матеріалу. І, звичайно ж, було б дуже добре, щоб під певним впливом матеріал міг тимчасово змінити свої властивості.

Властивості нано-структурних матеріалів, в тому числі характеристики експлуатаційних властивостей, визначаються їх структурою; вивчення останньої є однією з важливих завдань нано-структурного матеріалознавства [3]. Скористаємося класифікацією Г. Глейтера, щоб охарактеризувати основні типи структур неpolімерних нано-матеріалів (табл. 1)

Таблиця 1

Класифікація нано-матеріалів за складом фаз, розподілу і формі структурних складових

Форма структури	Основний склад	Багатофазний склад структури		
		Статистичний розподіл		Матричний розподіл
		Ідентичні форми	Не ідентичні форми	
Пластиначаста				
Стовпчикова				
Рівно вісна				

За хімічним складом і розподілу фаз можна виділити три типи структур: однофазні, статистичні багатофазні з ідентичними і неідентичних поверхнями розділу і матричні багатофазні. Також виділяють три типи структури за формою: пластиначаста, стовпчикова і містить рівно осні включення.

Ця класифікація враховує можливість сегрегації на міжкристалічних межах (ідентичні і неідентичні поверхні розділу).

Однак реальне різноманітність структурних типів може бути і більш широким за рахунок змішаних варіантів, наявності пористості, трубчастих і цибулинних структур, полімерних складових і т. д. Найбільш поширеними є одно- і багатофазні матричні і статистичні об'єкти, стовпчасті і багат шарові структури; останні характерні в більшості випадків для плівок.

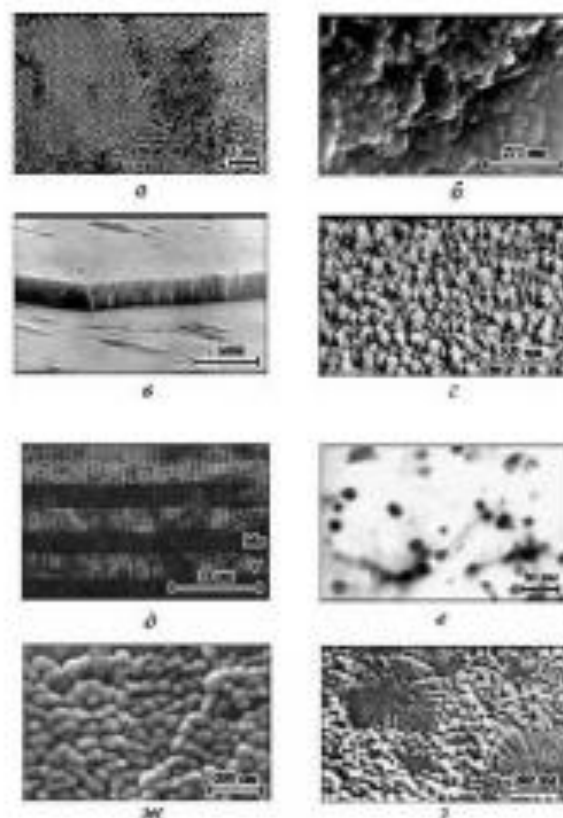


Рис.1 Види нано-структурних матеріалів

На рис. 1 показані типові структури нано-матеріалів. Ці знімки отримані за допомогою високо роздільного і значайних просвічують електронних мікроскопів (ПЕМ) (рис. 1, а, д-з), високо роздільного скануючого електронного мікроскопа (рис. 1, б, в) і атомно-силового мікроскопа (рис. 1, г) зі збільшенням в 20000-3500000 раз. Стовпчаста і пластинчаста структури плівок представлені на рис. 1, в-д; однофазні структури - на рис. 1, а-г, ж; багатофазні - на рис. 1, д, е, з.

Висновок: Використання в подальших конструкціях високошвидкісних затискних механізмів нано-структурних матеріалів створює реальні можливості зробити складну конструкцію шпиндельного вузла значно простішою, більш технологічною, що в свою чергу позитивно вплине на підвищення точності обробки.

Література

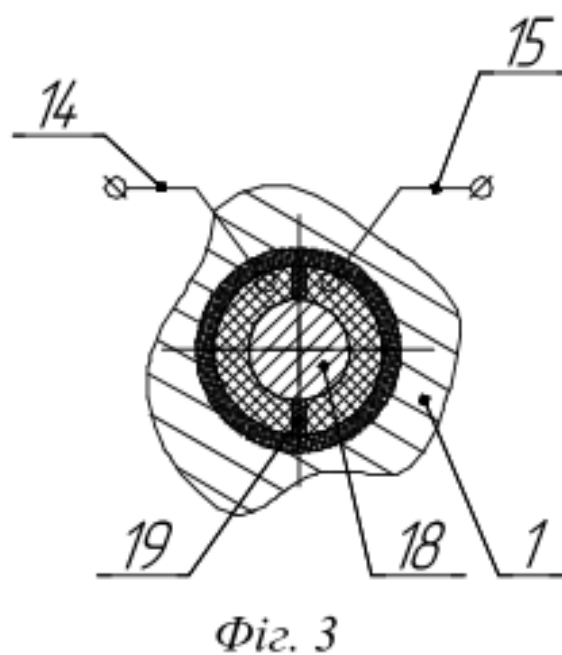
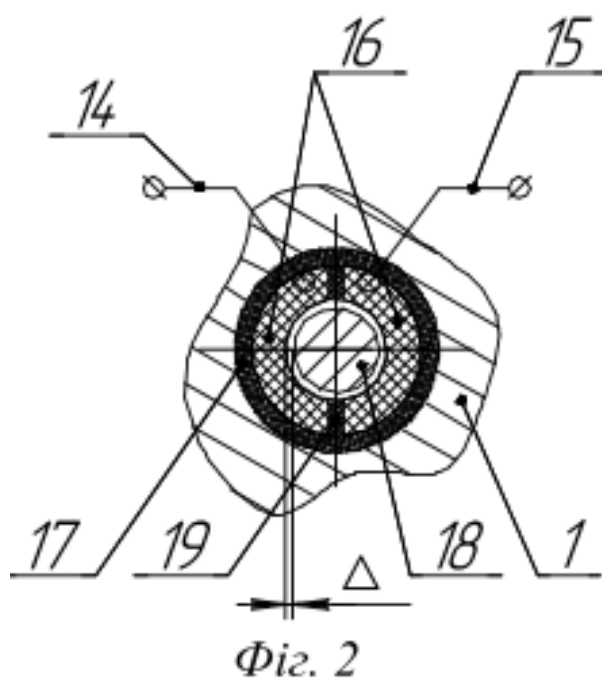
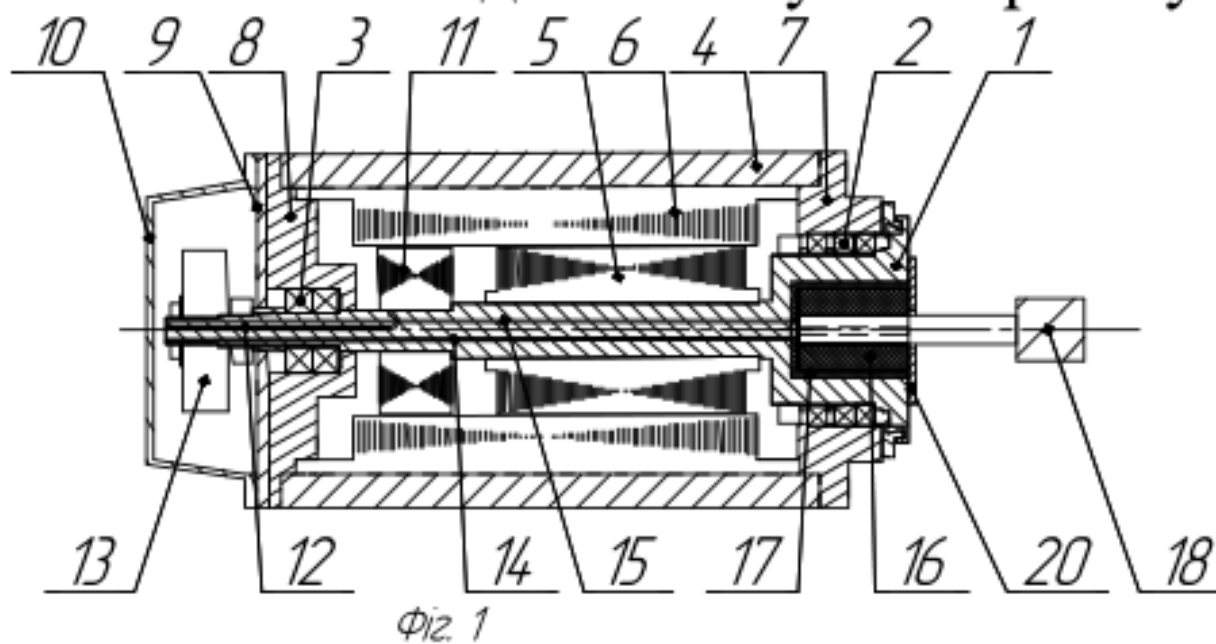
1. Кузнецов Ю.Н. Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения //Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб.-Харьков: НТУ «ХПИ», 2008.-Вып.85.-с.149-162.
2. Кузнецов Ю.Н. Создание станков нового поколения с применением генетико- морфологического подхода (часть 1,2) //Междунар. науч. Конференция «УНИТЕХ- 10».-Габрово,т.2; 2010.-с.П-79 – П-91.
3. Машков Ю. К. Материалы и методы нанотехнологии : конспект лекций / Ю. К. Машков, О. В. Малий ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. – 136 с.
4. 12. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем: Монографія / В.Ф. Шинкаренко.-К.: Наукова думка, 2002.-288 с.
5. 13. Шинкаренко В.Ф. Генетические программы структурной эволюции антропогенных систем (Междисциплинарный аспект) /В.Ф. Шинкаренко // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. Вип.13, том 4.-Мелітополь. 2013.- С.11-20.
6. Кузнецов Ю.Н. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: Монография / Ю.Н. Кузнецов, в.Н. Волошин, П.М. Неделчева, Ф.В. Эль-Дахаби; под ред. Ю.Н. Кузнецова.-
7. Габрово: Университетское издательство «Васил Априлов», 2010.-724 с.
8. Кузнецов Ю.М. Приводи затискних механізмів металообробних верстатів: Монографія /Ю.М. Кузнецов, Б.І. Придальний; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.М. Кузнецова.-Луцьк: Вежа-Друк, 2016.-352 с.
9. Кузнецов Ю.М., Эль-Дахаби Ф.В., Хамуйела Ж.А.Герра. Структурно-схемний синтез затискних патронів з використанням генетичних операторів // Научный журнал “Fundamentalis scientiam” (Фундаментальная наука), Испания, №11, 2017.- с.43-49.
10. Кузнецов Ю.Н. Морфологический синтез станков и их механизмов: Монография / Ю.Н. Кузнецов, Герра Ж.А. Хамуйела; под ред. Ю.Н. Кузнецова.- К.: ООО «ГНОЗИС», 2012.-416с.
11. Кузнецов Ю.Н. Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения / Ю.Н. Кузнецов // Резание и инструмент в технологических системах. Междунар. науч.-техн. сб.- Харьков: НТУ «ХПИ», 2008, вып.85.- С.149-162.

Драгогольський М.М., студент, Ночніченко І.В., к.т.н. Костюк Д.В., к.т.н.	50
ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БЛОКІВ РАНЦЕ-ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА (ДЖЕТПАКА).....	55
Іваннікова В.Е., студент, Макаренко М.Г., к.т.н., (НАУ), Юрчук В.П., д.т.н.....	55
ВИКОРИСТАННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ ЛЮДИНИ, СТВОРЕНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ AUTOCAD, У ГАЛУЗЯХ МЕДИЦИНИ ТА ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я.....	59
Кітани М.С. студентка, Воробйов О.М., ст. викладач, Голова О.О., ст. викладач, к.т.н., Лазарчук-Воробйова Ю.В.	59
ФОРМИРУЮЩІЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ ЭЛЕМЕНТОВ УСИЛЕНИЯ ПРОЁМОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОЛОНН	62
Козулин С.М., к.т.н.,.....	62
Подыма Г.С., ст. преподаватель,	62
АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ КОНСТРУКЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ НАНОКОМПОЗИТІВ	67
Колосова О. Є., д.т.н., с.н.с., професор,.....	67
ВИКОРИСТАННЯ НЕСТАНДАРТНИХ МАТЕРІАЛІВ В ВЕРСТАТОБУДУВАННІ	71
Колотуха В.А., студент ММІ, Кузнецов Ю.М., д.т.н. професор,	71
3D ГРАФІКА І ТЕНДЕНЦІ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ	75
Коропенко Д.Ю., студент Яблонський П.М., к.т.н., доцент	75
КОНСТРУЮВАННЯ СОРТУВАЛЬНОГО СТОЛУ КАРТОПЛЕЗНИРАЛЬНОГО ОДНОРЯДНОГО КОМБАЙНУ	78
Кувшинов О.В., студент, Юрчук В.П., д. т. н., Колосова О.П., к. т. н.....	78
ВИКОРИСТАННЯ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ C# ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ШАХОВОЇ ЗАДАЧІ ПРО ХІД КОНЯ	82
Лудин Д.К., ст. викладач, Терновий І.С., студент,.....	82
ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ В МУЛЬТИ-ІНДУСТРІЇ	86
Мадигін Д.Т., студент Вознюк Т.А., ст.викладач	86
ЕКОНОМНА ЕЛЕКТРОПЛИТКА	93
Мирошніченко М. В.	93
МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОТИГАЗУ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ	95
Неронія Р.А., студент, Воробйов О.М., ст. викладач, Голова О.О., ст. викладач, к.т.н., Лазарчук-Воробйова Ю.В.	95
КЛАСИФІКАЦІЯ БАЗОВОЇ МНОЖИНИ ПЕРВИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОВЕРХОНЬ	97
Ніколаєва А.Д., студент, Голова О.О., доцент к.т.н., Воробйов О.М., старший викладач, Лазарчук-Воробйова Ю.В., асистент.....	97

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Gumen O.M.....	36	Залевський С.В.	165, 168
Irina Selina	109	Іванніков В.Е.....	55
Lebedyeva O.O.	36	Квятковський Б.Б.	170
Roman Selin	109	Кізим М.С.	59
Алдохін М.Д.	180	Коваленко І.В.....	45
Александрова Д. С.	156	Коваль Г.М.	134, 139, 156
Баскова Г.В.	134, 139, 199	Ковальов Р.В.	194
Білицька Н.В.	145, 150, 156, 170, 175	Козулін С.М.	62
Болдирєва Л. В.	8, 11	Коломийчук Н.М.	191
Болдирєва М.О.	8	Колосов О. Є.	67
Ванін В.В.....	4	Колосова О.П.	78, 194, 199
Вахнова Н.С.	14	Колотуха В.А.	71
Вигоднер І.В.	120	Короленко Д.Ю.....	75
Вишняков М.О.....	18	Костюк Д.В.	50, 115
Вірченко Г.А.....	4	Кувшинов О. В.....	78
Водяник Б.Р.	21	Кузнецов Ю.М.	71
Вознюк Т.А.	86	Лазарчук-Воробйова Ю.В. 21, 59, 95, 97	
Воробйов О.М....	21, 59, 95, 97	Лазарчук-Воробьева Ю.В. ..	27
Воробьев А.Н.....	27	Лебедєва О.О.	183
Гацько М.В.....	134	Левицький Д.Ю.	18
Герич А.О.....	27	Левченко О.Ю.....	150
Гетьман О.Г.	145, 150, 170	Луданов Д.К.	82
Глібко О.А.....	40	Макаренко М.Г.	55
Глінський Є.М.	45	Малигін Д.Т.	86
Гнітецька Г.О.....	161	Мартиненко Г.С. 150, 175, 188	
Гнітецька Т.В.....	161	Матвійчук О.В.	18
Гожій С.П.....	123	Мирончук В.С.	31, 115
Голова О.А.	27	Мирошніченко М. В.....	93
Голова О.О.	21, 59, 95, 97	Міхлевська Н.В.....	45
Грубич М.В.	194	Надкернична Т.М.	175, 180, 183
Гулаєвич С.О.	123	Незенко А.Й.	4
Дітківська О.С.	127	Неровня Р.А.	95
Добровольський М.І.	8	Несідоміна О.В.	101
Довгополий М.М.....	50	Ніколаєва А.Д.	97
Єсаф'єв Є.О.	31		

Шпиндельний вузол верстату



Автори: Кузнецов Ю. М.
Колотуха В. А.
Ель-Дахабі Ф. В.